

Usp 5,989,690

5

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 9 - 5 0 6 1 1

(43) 公開日 平成 9 年 (1997) 2 月 18 日

(51) Int. Cl. ⁶
G 1 1 B 5/39

識別記号 庁内整理番号

F I
G 1 1 B 5/39

技術表示箇所

審査請求 有 請求項の数 4 8 O L (全 3 1 頁)

* * Priority	(21) 出願番号	特願平 7-344066 Application No.	(71) 出願人	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
	(22) 出願日	平成 7 年 (1995) 12 月 28 日 Filling Date	(72) 発明者	藤方 潤一 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式 会社内
	(31) 優先権主張番号	特願平 7-136670 (Ser. No.)	(72) 発明者	林 一彦 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式 会社内
	(32) 優先日	平 7 (1995) 6 月 2 日 (Filling Date)	(72) 発明者	中田 正文 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式 会社内
	(33) 優先権主張国	日本 (J P) (Country)	(74) 代理人	弁理士 後藤 洋介 (外 2 名)

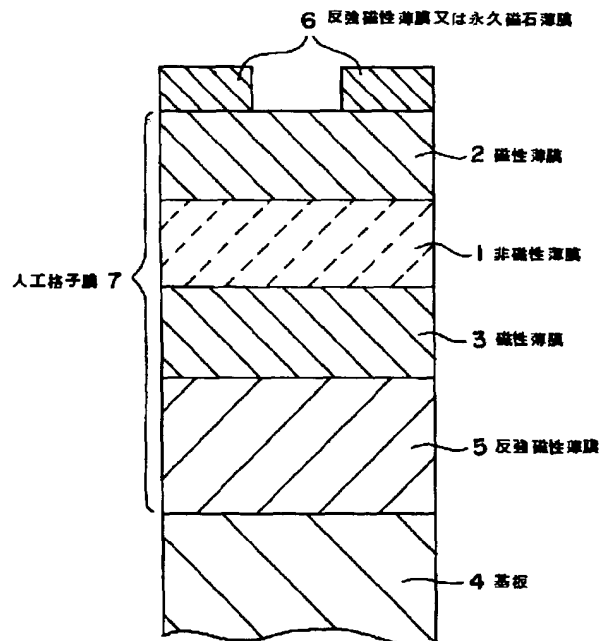
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果膜及びその製造方法並びに磁気抵抗効果素子

(57) 【要約】

【課題】 ゼロ磁場前後で直線的に抵抗変化し、しかも耐食性に優れた磁気抵抗効果膜を提供する。

【解決手段】 基板 4 上に非磁性薄膜 1 を介して積層した複数の磁性薄膜 2, 3 からなり、非磁性薄膜 1 を介して隣り合う一方の磁性薄膜 3 に反強磁性薄膜 5 が設けてあり、この反強磁性薄膜 5 のバイアス磁界を H_r 、他方の磁性薄膜 2 の保磁力を H_{c2} としたとき、 $H_{c2} < H_r$ である磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性薄膜 5 の少なくとも一部が f c t 構造の Ni Mn 又は Ni O 上に 10 ~ 40 オングストロームの Co O を積層した 2 層構造である。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に非磁性薄膜を介して積層した複数の磁性薄膜からなり、非磁性薄膜を介して隣り合う一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜が設けてあり、この反強磁性薄膜のバイアス磁界を H_r 、他方の軟磁性薄膜の保磁力を H_{c_2} としたとき、 $H_{c_2} < H_r$ である磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性薄膜の少なくとも一部が fct 構造の $NiMn$ であることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項 2】 基板上に非磁性薄膜を介して積層した複数の磁性薄膜からなり、非磁性薄膜を介して隣り合う一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜が設けてあり、この反強磁性薄膜のバイアス磁界を H_r 、他方の軟磁性薄膜の保磁力を H_{c_2} としたとき、 $H_{c_2} < H_r$ である磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性薄膜が NiO 上に CoO を 10 から 40 オングストローム積層した 2 層膜であることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項 3】 前記 $NiMn$ 合金の Mn 原子含有率が、46 から 60 % の範囲内であることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 4】 前記 $NiMn$ 合金に 1 ~ 10 % の炭素 (C) を添加し、 fct 格子変態を誘起させることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 5】 前記 $NiMn$ 合金が Ni と Mn と選択された耐食性材料との 3 相合金であることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 6】 前記耐食性材料がクロミウム (Cr) であることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 7】 前記 $NiMn$ の下地層として、 Ti 、 Hf 、 Zr 、 Y 、 Ta 、 Cr 又はこれらの合金を挿入することを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 8】 前記非磁性薄膜の厚みが 20 ~ 35 オングストロームであることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 9】 前記反強磁性薄膜 $NiMn$ 及びこれに隣接する軟磁性薄膜が、300℃以下の温度において熱処理されることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 10】 前記反強磁性薄膜のバイアス磁界を H_r 、他方の軟磁性薄膜の保磁力を H_{c_2} 、異方性磁界を H_{k_2} としたとき、 $H_{c_2} < H_{k_2} < H_r$ であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 11】 磁性体の種類が Ni 、 Fe 、 Co 、 $NiFe$ 、 $NiFeCo$ 又はこれらの合金を主成分とすることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 12】 前記非磁性薄膜と磁性薄膜の界面に Co 、 $FeCo$ 、 $NiCo$ 又は $NiFeCo$ を 5 ~ 30 オングストローム挿入することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 13】 成膜中印加磁界を 90 度回転させることにより前記非磁性薄膜を介して隣り合う磁性薄膜の磁化容易軸方向が直交していることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 14】 反強磁性薄膜と隣接しない一方の磁性薄膜が反強磁性薄膜又は永久磁石薄膜を用いて単磁区化されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 15】 基板上に非磁性薄膜を介して積層した複数の磁性薄膜からなり、非磁性薄膜を介して隣り合う一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜が隣接して設けてあり、この反強磁性薄膜のバイアス磁界を H_r 、他方の軟磁性薄膜の保磁力を H_{c_2} としたとき、 $H_{c_2} < H_r$ である磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性体が Ni 酸化膜上に Ni_xCo_{1-x} 酸化膜 ($x=0 \sim 0.9$) を 1 から 30 オングストローム積層した 2 層膜であることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項 16】 基板上に非磁性薄膜を介して積層した複数の磁性薄膜からなり、非磁性薄膜を介して隣り合う一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜が隣接して設けてあり、この反強磁性薄膜のバイアス磁界を H_r 、他方の軟磁性薄膜の保磁力を H_{c_2} としたとき、 $H_{c_2} < H_r$ である磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性体が Ni 酸化膜上に Ni_xCo_{1-x} 酸化膜を $x=0$ から 0.9 の範囲で組成変化させ、1 から 30 オングストローム積層した多層膜であることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項 17】 Ni 酸化膜の膜厚が 100 から 500 オングストロームであることを特徴とする請求項 15 又は 16 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 18】 Ni 酸化膜中の Ni に対する O の組成比が 0.5 から 1.5 であることを特徴とする請求項 15 又は 16 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 19】 Ni_xCo_{1-x} 酸化膜 ($x=0 \sim 0.9$) 中の Ni_xCo_{1-x} に対する O の組成比が 0.5 から 2.5 であることを特徴とする請求項 15 又は 16 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 20】 Ni_xCo_{1-x} 酸化膜 ($x=0 \sim 0.9$) 中の Co 酸化相の結晶構造がスピネル構造を主成分とすることを特徴とする請求項 15 又は 16 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 21】 反強磁性薄膜の表面粗さが 2.0 から 30 オングストロームであることを特徴とする請求項 15 又は 16 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 22】 非磁性薄膜の種類が Au 、 Ag 、 Cu 、 Ru 、 Re 又はこれらの合金であることを特徴とする請求項 15 又は 16 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 23】 基板上に非磁性薄膜を介して積層した複数の磁性薄膜からなり、非磁性薄膜を介して隣り合う一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜が隣接して設けてあり、この反強磁性薄膜のバイアス磁界を H_r 、他方の軟

磁性薄膜の保磁力を H_{c2} としたとき、 $H_{c2} < H_r$ である磁気抵抗効果膜において、前記非磁性層の厚みが20から35オングストロームであることを特徴とする請求項15又は16記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項24】 基板上に非磁性薄膜を介して積層した複数の磁性薄膜からなり、非磁性薄膜を介して隣り合う一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜が隣接して設けてあり、この反強磁性薄膜のバイアス磁界を H_r 、他方の軟磁性薄膜の保磁力を H_{c2} としたとき、 $H_{c2} < H_r$ である磁気抵抗効果膜において、前記非磁性層の厚みが8から12オングストロームであることを特徴とする請求項15又は16記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項25】 反強磁性薄膜のバイアス磁界を H_r 、他方の軟磁性薄膜の保磁力を H_{c2} 、異方性磁界を H_{k2} としたとき、 $H_{c2} < H_{k2} < H_r$ であることを特徴とする請求項15又は16記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項26】 磁性体の種類がNi、Fe、Co、FeCo、NiFe、NiFeCo又はこれらの合金を主成分とすることを特徴とする請求項15又は16記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項27】 磁性薄膜の膜厚が20から150オングストロームであることを特徴とする請求項15又は16記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項28】 非磁性薄膜と磁性薄膜の界面にCo、FeCo、NiCo又はNiFeCoを1~30オングストローム挿入することを特徴とする請求項15又は16記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項29】 反強磁性薄膜と磁性薄膜の界面にFe、Ni、Co又はこれらの合金を3~30オングストローム挿入することを特徴とする請求項15又は16記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項30】 基板温度を室温から300℃として反強磁性薄膜及びそれに隣接する軟磁性薄膜を成膜することを特徴とする請求項15又は16記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項31】 非磁性薄膜を介して隣り合う磁性薄膜の磁化容易軸方向が直交するように、成膜中印加磁界を90度回転させることを特徴とする請求項15又は16記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項32】 基板上に非磁性薄膜を介して積層した複数の磁性薄膜からなり、非磁性薄膜を介して隣り合う一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜が隣接して設けてある請求項15又は16記載の磁気抵抗効果膜において、反強磁性薄膜と隣接しない一方の磁性薄膜を永久磁石薄膜を用いて単磁区化することを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項33】 反強磁性層／第1の強磁性層／非磁性層／第2の強磁性層からなる磁気抵抗効果素子、又は反強磁性層／第1の強磁性層／第1のMRエンハンス層／非磁性層／第2のMRエンハンス層／第2の強磁性層か

らなり、反強磁性層がNi酸化物／Co酸化物の2層膜であり、Ni酸化物膜厚が10nm以上であり、かつ、Co酸化物膜厚が0.3から3.0nmである磁気抵抗効果素子において、Ni酸化物中のNi原子数／(Ni原子数+O原子数)が0.3~0.7であり、かつ、Co酸化物中のCo原子数／(Co原子数+O原子数)が0.3~0.7であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項34】 Co酸化物層がスピネル構造であることを特徴とする請求項33記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項35】 Ni酸化物／Co酸化物2層膜の表面粗さが10nm以下であることを特徴とする請求項33又は34記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項36】 第1及び第2の強磁性層がNiFe又はNiFeCoを主成分とする材料からなることを特徴とする請求項33~35のいずれか1項記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項37】 第1の強磁性層がCoを主成分とする材料、第2の強磁性層がNiFe又はNiFeCoを主成分とする材料からなることを特徴とする請求項33~36のいずれか1項記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項38】 非磁性層にPd、Al、Cu、Ta、In、B、Nb、Hf、Mo、W、Re、Ru、Rh、Ga、Zr、Ir、Au、Agを添加することを特徴とする請求項33~37のいずれか1項記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項39】 非磁性層にCu、Ag又はAuからなるグループからなる材料を用いることを特徴とする請求項33~38のいずれか1項記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項40】 非磁性層にAg添加Cu又はRe添加Cuを主成分とする材料を用いることを特徴とする請求項33~38のいずれか1項記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項41】 強磁性層膜厚が1~10nm、素子高さが0.1~1μm、非磁性層膜厚が2~3nm、反強磁性層膜厚が10~70nmであることを特徴とする請求項33~40のいずれか1項記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項42】 成膜中印加磁界を回転させることにより前記非磁性薄膜を介して隣り合う磁性薄膜の磁化容易軸方向のなす角が70度から90度の範囲にあることを特徴とする請求項33~41のいずれか1項記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項43】 基板／下地層／強磁性層／非磁性層／強磁性層／Co酸化物／Ni酸化物という構造の磁気抵抗効果素子において、下地層にfcc構造をもつ層を用いることを特徴とする請求項33~42のいずれか1項記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項44】 基板／下地層／強磁性層／非磁性層／強磁性層／Co酸化物／Ni酸化物という構造の磁気抵抗効果素子において、下地層にTa、Ti、Zr、Hf

からなるグループから選ばれた材料で形成されていることを特徴とする請求項 33～43 のいずれか 1 項記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 45】 請求項 33～44 のいずれか 1 項記載の磁気抵抗効果素子を用い、基板上に下シールド層、下ギャップ、及び磁気抵抗効果素子が積層されており、シールド層はパターン化されており、磁気抵抗効果素子はパターン化されており、その端部に接するように縦バイアス層及び下電極層が順次積層されており、その上に上ギャップ層、上シールド層が順次積層されていることを

特徴とするシールド型磁気抵抗効果センサー。

【請求項 46】 請求項 33～44 のいずれか 1 項記載の磁気抵抗効果素子を用い、基板上に下シールド層、下ギャップ、及び磁気抵抗効果素子が積層されており、シールド層はパターン化されており、磁気抵抗効果素子はパターン化されており、その上部に一部重なるように縦バイアス層及び下電極層が順次積層されており、その上に上ギャップ層、上シールド層が順次積層されていることを特徴とするシールド型磁気抵抗効果センサー。

【請求項 47】 請求項 45 又は 46 記載の磁気抵抗効果センサーと、磁気抵抗センサーを通る電流を生じる手段と、検出される磁界の関数として上記磁気抵抗センサーの抵抗率変化を検出する手段とを備えたことを特徴とする磁気抵抗検出システム。

【請求項 48】 データ記録のための複数のトラックを有する磁気記憶媒体と、磁気記憶媒体上にデータを記憶させるための磁気記録システムと、請求項 47 記載の磁気抵抗検出システムと、磁気記録システム及び磁気抵抗検出システムを前記磁気記憶媒体の選択されたトラックへ移動させるために、磁気記録システム及び磁気抵抗変換システムとに結合されたアクチュエータ手段とからなることを特徴とする磁気記憶システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、磁気媒体等において、磁界強度を信号として読み取るための磁気抵抗効果素子に用いる磁気抵抗効果膜に関し、特に、小さい外部磁界で抵抗変化率が大きい磁気抵抗効果膜に関するものである。

【0002】 また、本発明は、磁気媒体に記録した情報信号を読み取るための磁気センサーに関するものである。

【0003】

【従来の技術】 近年、磁気センサーの高感度化及び磁気記録における高密度化が進められており、これに伴い磁気効果型磁気センサー（以下、MRセンサーという）及び磁気抵抗効果型磁気ヘッド（以下、MRヘッドという）の開発が盛んに進められている。MRセンサーもMRヘッドも、磁性材料からなる読み取りセンサー部の抵抗変化により、外部磁界信号を読み出すわけであるが、

MRセンサー及びMRヘッドは記録媒体との相対速度が再生出力に依存しないから、MRセンサーでは高感度が、MRヘッドでは高密度磁気記録においても高い出力が得られるという特徴がある。

【0004】 最近、非磁性薄膜を介して積層された少なくとも 2 層の磁性薄膜を有しており、一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜を隣接して設けることで抗磁力を与え、非磁性薄膜を介して隣接した他方の軟磁性薄膜と異なった外部磁界で磁化回転させることで抵抗変化させる磁気抵抗効果膜がある（フィジカル レビュー B (Phys. Rev. B) 第 43 巻、第 1297 頁、1991 年、特開平 4-358310 号公報）。

【0005】 また、従来の技術では、MRセンサー又はMRヘッドと呼ばれる磁気読み取り変換器が開示されており、これは大きな線形密度で磁性表面からデータを読み取れることが判明している。MRセンサーは、読み取り素子によって感知される磁束の強さと方向の関数としての抵抗変化を介して磁界信号を検出する。こうした従来の技術のMRセンサーは、読み取り素子の抵抗の 1 成分が磁化方向と素子中を流れる感知電流の方向の間の角度の余弦の 2 乗に比例して変化する、異方性磁気抵抗（AMR）効果に基づいて動作する。AMR効果のより詳しい説明は、D. A. トムソン（Thompson）等の論文“Memory, Storage, and Related Applications” IEEE Trans. on Mag. MAG-11, p. 1039 (1975) に記載されている。

【0006】 さらに最近には、積層磁気センサーの抵抗変化が、非磁性層を介する磁性層間での伝導電子のスピン依存性伝送、及びそれに付随する層界面でのスピン依存性散乱に帰される、より顕著な磁気抵抗効果が記載されている。この磁気抵抗効果は、“巨大磁気抵抗効果”や“スピンバルブ効果”など様々な名称で呼ばれている。このような磁気抵抗センサーは適当な材料で出来ており、AMR効果を利用するセンサーで観察されるよりも、感度が改善され、抵抗変化が大きい。この種のMRセンサーでは、非磁性層で分離された一対の強磁性体層の間の平面内抵抗が、2つの層の磁化方向間の角度の余弦に比例して変化する。

【0007】 1986年6月に優先権が主張されている特開平 2-61572号公報には、磁性層内の磁化の反平行配列によって生じる、高いMR変化をもたらす積層磁性構造が記載されている。積層構造で使用可能な材料として、上記明細書には強磁性の遷移金属及び合金が挙げられている。また、中間層により分離されている少なくとも 2 層の強磁性層の一方に反強磁性層を付加した構造及び反強磁性層として FeMn が適当であることが、開示されている。

【0008】 1990年12月11日に優先権主張されている、特開平 4-358310号公報には、非磁性金

属体の薄膜層によって仕切られた強磁性体の 2 層の薄膜層を有し、印加磁界が零である場合に 2 つの強磁性薄膜層の磁化方向が直交し、2 つの非結合強磁性体層間の抵抗が 2 つの層の磁化方向間の角度の余弦に比例して変化し、センサー中を流れる電流の方向とは独立な MR センサーが開示されている。

【0009】1994 年 9 月 8 日に本出願人により先に出願されている特願平 6-214837 号では、基板上に非磁性層を介して積層した複数の磁性薄膜からなり、非磁性薄膜を介して隣り合う一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜が隣接して設けられており、この反強磁性薄膜のバイアス磁界を H_r 、他方の軟磁性薄膜の保磁力を H_c_2 とした時に、 $H_c_2 < H_r$ である磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性層が NiO 、 $Ni_xCo_{1-x}O$ 、 CoO から選ばれる少なくとも 2 種からなる超格子である磁気抵抗効果素子が、開示されている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記先願の磁気抵抗効果素子においても、小さい外部磁場で動作するとはいえ、実用的なセンサー、磁気ヘッドとして使用する場合は、磁化容易軸方向に信号磁界が印加される必要があり、センサーとして用いる場合、ゼロ磁場前後で抵抗変化を示さないこと、及びバルクハウゼンジャンプなどの非直線性が現れるという問題があった。

【0011】また、非磁性層を介して隣り合う磁性層間に強磁性的な相互作用があり、 $M-R$ 曲線における直線域がゼロ磁場からシフトしてしまうという問題があった。

【0012】さらに、反強磁性薄膜として $FeMn$ という耐食性の悪い材料を用いる必要があり、実用化に際して添加物を加えるか、又は保護膜をつけるなどの施策を必要とする問題があった。

【0013】基本的に磁性薄膜／非磁性薄膜／磁性薄膜の 3 層における伝導電子の平均自由工程長の変化を利用して抵抗変化を得る構造であるため、多層構造を有するカップリング型と呼ばれる磁気抵抗効果膜に比較して、抵抗変化率が小さいという問題があった。

【0014】一方、反強磁性薄膜として耐食性の優れた Ni 酸化膜を用いる場合、バイアス磁界が小さく隣接する軟磁性膜の保磁力が大きくなり、磁性層間の磁化反平行状態が得難いという問題があった。

【0015】反強磁性薄膜として酸化物反強磁性膜を用いる場合、熱処理をした時隣接する軟磁性膜が酸化し、バイアス磁界さらには磁気抵抗効果膜の抵抗変化率が低下してしまうという問題があった。

【0016】反強磁性薄膜として NiO と CoO の超格子を用いる場合、大きな交換結合磁界が得られるものの、磁気抵抗効果膜として動作する上限温度であるブロック温度が低下してしまうという問題があった。また、生産コストが大きいという問題があった。

【0017】反強磁性膜として NiO 上に 10 から 40 オングストロームの CoO を積層した二層膜を用いる場合、 CoO 反強磁性相を得るのが非常に難しいという問題があった。

【0018】基本的に磁性薄膜／非磁性薄膜／磁性薄膜 3 層における伝導電子の平均自由行程長の変化を利用して抵抗変化を得る構造であるため、多層構造を有するカップリング型と呼ばれる磁気抵抗効果膜に比較して、抵抗変化率が小さいという問題があった。

【0019】本発明の目的は、ゼロ磁場前後で直線的に大きな抵抗変化を示し、 $M-R$ 曲線におけるヒステリシスが小さく、しかも耐食性及び耐熱性に優れた磁気抵抗効果膜を提供することにある。

【0020】また、上記従来の技術では、スピンバルブ構造を構成する反強磁性層として大気中で酸化しやすい $FeMn$ が主に候補として挙げられており、実用化に際しては、添加物を加える又は保護膜を用いる等が不可欠である。しかも、このような対策を用いた後もなおプロセス加工時の特性劣化があり、完成素子の信頼性が十分とは言えなかった。

【0021】一方の強磁性層反転磁界を増大させる手段として、耐食性の優れた Ni 酸化物膜又は $CoPt$ 膜を用いた場合、その上に積層する磁性層／非磁性層／磁性層サンドイッチ膜の結晶性が悪く、 $R-H$ ループ上にヒステリシスが現れやすくなるという問題があった。

【0022】 SV 効果を利用した磁気抵抗効果素子を磁気抵抗効果センサーとして利用する場合は、従来の AMR を用いた磁気抵抗センサーの場合同様、磁界零における動作ポイント（クロスポイント）で最適化することが必要になる。また、 SV 効果を利用した磁気抵抗効果素子では素子形状がヘッド再生出力に影響を及ぼす。さらに、非導電材料を反強磁性材料に用いた SV 素子では反強磁性材料の膜厚がシールド型磁気抵抗素子のギャップ長に影響し、シールド型磁気抵抗効果ヘッドによる再生信号のオフトラック特性に影響を及ぼす。

【0023】本発明は、良好な、耐食性、交換結合磁界、ヒステリシス特性、 MR 比、クロスポイント、及び出力信号半値幅をもつ、磁気抵抗効果素子及び磁気検出システムを提供することを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】上記問題を解決するため、本発明は、基板上に非磁性薄膜を介して積層した複数の磁性薄膜からなり、非磁性薄膜を介して隣り合う一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜が設けてあり、この反強磁性薄膜のバイアス磁界を H_r 、他方の軟磁性薄膜の保磁力を H_c_2 としたとき、 $H_c_2 < H_r$ である磁気抵抗効果膜であることを特徴とする磁気抵抗効果膜である。

【0025】本発明の反強磁性薄膜に用いる反強磁性薄膜は、少なくとも一部が fcc 構造の $NiMn$ である。前記 $NiMn$ 合金の Mn 原子含有率を 46 から 60 % の

範囲内にすることにより、熱処理を施した場合の f c t 構造への格子変態が実現される。Ni Mn の下地層としては、Ti、Hf、Zr、Y等の h c p 金属が望ましい。更に、反強磁性薄膜 Ni Mn 及びこれに隣接する軟磁性薄膜を、300℃以下の温度において熱処理することにより、Ni Mn の f c t 層が成長し、反強磁性層及び強磁性層界面での交換結合に由来して、磁性層に一方異方性を付与することが可能である。また、Ni Mn 合金に1~10%の炭素(C)を添加することにより、熱処理時の f c t 格子変態を促進させることが可能である。更に、Ni Mn 合金に0~10%のクロミウム(Cr)を添加することにより、耐食性を高めることが可能である。

【0026】成膜は、蒸着法、スパッタリング法、分子線エビタキシー法(MBE)等の方法で行う。また、基板としては、ガラス、Si、MgO、Al₂O₃、SiC、GaAs、フェライト、CaTi₂O₃、BaTi₂O₃、Al₂O₃-TiC等を用いることができる。

【0027】本発明の反強磁性薄膜に用いる反強磁性薄膜は、具体的にはNiO上に10~40オングストロームのCoOを積層した2層膜構造を有する。この2層膜上に強磁性膜を積層し交換結合膜とした後、200℃程度で磁界中加熱を施すことにより、交換結合磁界は上昇する。

【0028】NiOの膜厚の上限は、1000オングストロームである。一方、NiO膜の厚さの下限は特にないが、反強磁性の結晶性が隣接する磁性層への交換結合磁界の大きさに大きく影響するため、結晶性が良好となる100オングストローム以上とすることが好ましい。また、基板温度を100~300℃として成膜することにより、結晶性が改善されバイアス磁界が上昇する。成膜は、蒸着法、スパッタリング法、分子線エビタキシー法(MBE)等の方法で行う。また、基板としては、ガラス、Si、MgO、Al₂O₃、SiC、GaAs、フェライト、CaTi₂O₃、BaTi₂O₃、Al₂O₃-TiC等を用いることができる。

【0029】本発明の磁性薄膜に用いる磁性体の種類は特に制限されないが、具体的には、Fe、Ni、Co、Mn、Cr、Dy、Er、Nd、Tb、Tm、Ge、Gd等が好ましい。また、これらの元素を含む合金や化合物としては、例えばFe-Si、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Gd、Ni-Fe-Co、Ni-Fe-Mo、Fe-Al-Si(センダスト)、Fe-Y、Fe-Mn、Cr-Sb、Co系アモルファス、Co-Pt、Fe-Al、Fe-C、フェライト等が好ましい。

【0030】本発明ではこれらの磁性体から選択して磁性薄膜を形成する。特に、反強磁性薄膜と隣接していない磁性薄膜の異方性磁界H_{k2}が保磁力H_{c2}より大きい材料を選択することにより実現できる。

【0031】また、異方性磁界は膜厚を薄くすることに

よっても大きくできる。例えば、NiFeを10オングストローム程度の厚さにすると異方性磁界H_{k2}を保磁力H_{c2}より大きくすることができる。

【0032】さらに、このような磁気抵抗効果膜は磁性薄膜の磁化容易軸が印加される信号磁界方向に対して垂直方向になっていて、印加信号時間方向の保磁力がH_{c2}<H_{k2}<H_rになるように前記磁性薄膜を磁場中に成膜することにより製造できる。具体的には反強磁性薄膜と隣り合う軟磁性膜の磁化容易軸とこれと非磁性薄膜を介して隣り合う磁性薄膜の磁化容易軸方向が直交するように成膜中印加磁界を90度回転させるか、又は磁場中で基板を90度回転させることにより実現される。

【0033】各磁性薄膜の膜厚は、200オングストローム以下が望ましい。膜厚を200オングストローム以上としても効果は減少しないが、膜厚の増加に伴って効果が増大することもなく、膜の作製上無駄が多く、不経済である。一方、磁性薄膜の厚さの下限は特にないが、30オングストローム以下は伝導電子の表面散乱の効果が大きくなり、磁気抵抗変化が小さくなる。また、厚さを30オングストローム以上とすれば、膜厚を均一に保つことが容易となり、特性も良好となる。また、飽和磁化の大きさが小さくなりすぎることもない。

【0034】更に、非磁性薄膜と磁性薄膜の界面にCo又はCo系合金を挿入することにより、伝導電子の界面散乱確率が上昇し、より大きな抵抗変化を得ることが可能である。挿入する膜厚の下限は5オングストロームである。これ以下では、挿入効果が減少すると共に、膜厚制御も困難となる。挿入する膜厚の上限は特にないが、30オングストローム程度が望ましい。これ以上になると、磁気抵抗効果素子の動作範囲における出力にヒステリシスが現れる。

【0035】更に、このような磁気抵抗効果膜において、外部磁場を検知する磁性層、すなわち、反強磁性層と隣接しない磁性層の容易磁化方向に反強磁性薄膜又は永久磁石薄膜を隣接させることにより、磁区安定化が図られ、バルクハウゼンジャンプ等の非直線的な出力が回避される。磁区安定化に用いられる反強磁性薄膜としては、FeMn、NiMn、NiO、CoO、Fe₂O₃、FeO、CrO、MnOなどが好ましい。また、永久磁石薄膜としては、CoCr、CoCrTa、CoCrTaPt、CoCrPt、CoNiPt、CoNiCr、CoCrPtSi、FeCoCrなどが好ましい。そして、これらの永久磁石薄膜の下地層として、Crなどが用いられても良い。

【0036】非磁性薄膜は、磁性薄膜間の磁気相互作用を弱める役割を果たす材料であり、その種類に制限はなく、各種金属ないし半金属非磁性体から適宜選択すればよい。

【0037】金属磁性体としては、Au、Ag、Cu、Pt、Al、Mg、Mo、Zn、Nb、Ta、V、H

f、Sb、Zr、Ga、Ti、Sn、Pb等及びこれらの合金が好ましい。半金属非磁性体としては、SiO₂、SiN、Al₂O₃、ZnO、MgO、TiNなど及びこれらに別の元素を添加したものが好ましい。

【0038】実験結果より非磁性薄膜の厚さは、20～35オングストロームが望ましい。一般的に膜厚が40オングストロームを越えると、非磁性薄膜により抵抗が決まってしまう、スピンによる散乱効果が相対的に小さくなってしまい、その結果、磁気抵抗変化が小さくなってしまう。一方、膜厚が20オングストローム以下になると、磁性薄膜間の磁気相互作用が大きくなりすぎ、また磁気的な直接接触状態（ピンホール）の発生が避けられないので、両磁性薄膜の磁化方向が相異なる状態が生じにくくなる。

【0039】磁性又は非磁性薄膜の膜厚は、透過型電子顕微鏡、走査型電子顕微鏡、オージェ電子分光分析などにより測定することができる。また、薄膜の結晶構造は、X線回折や高速電子線回折等により確認することができる。

【0040】本発明の磁気抵抗効果素子において、人工格子膜の繰り返し積層回数Nに特に制限はなく目的とする磁気抵抗変化率などに応じて適宜選択すれば良い。

【0041】なお、最上層の磁性薄膜の表面には、窒化珪素、酸化珪素、酸化アルミ等の酸化防止膜が設けられても良く、電極引き出しのための金属導電層が設けられてもよい。

【0042】また、磁気抵抗効果素子中に存在する磁性薄膜の磁気特性を直接測定することはできないので、通常、下記のようにして測定する。測定すべき磁性薄膜を、磁性薄膜の合計厚さが500～1000オングストローム程度になるまで非磁性薄膜と交互に成膜して測定用サンプルを作製し、これについて磁気特性を測定する。この場合、磁性薄膜の厚さ、非磁性薄膜の厚さ及び非磁性薄膜の組成は、磁気抵抗効果素子におけるものと同じにする。

【0043】

【作用】本発明の磁気抵抗効果膜では、一方の軟磁性薄膜に隣接して反強磁性薄膜が形成されていて、交換バイアス力が働いていることが必須である。その理由は、本発明の原理が隣り合った磁性薄膜の磁化の向きが互いに逆向きに向いたとき、最大の抵抗を示すからである。

【0044】図3は本発明の磁気抵抗効果膜の作動原理を説明するB-H曲線である。

【0045】すなわち、本発明では図3に示すごとく外部磁場Hが磁性薄膜の異方性磁界H_{k2}と一方の磁性薄膜の抗磁力H_rの間であるとき、すなわち、H_{k2}<H<H_rであるとき、隣り合った磁性薄膜の磁化の方向が互いに逆向きになり、抵抗が増大する。

【0046】図2は本発明の磁気抵抗効果膜を使用した磁気抵抗センサーの概略構成を説明する展開斜視図であ

る。

【0047】図2の磁気抵抗センサーは基板4上に形成された人工格子膜7からなり、基板4上に形成された反強磁性薄膜5の上に、非磁性薄膜1を介した磁性薄膜2、3間の磁化容易方向を直交させ、磁気記録媒体8から放出される信号磁界が磁性薄膜2の磁化容易方向に対し垂直となるように設定する。

【0048】このとき、磁性薄膜3は隣接する反強磁性薄膜5により一方向異方性が付与されている。そして、磁性薄膜2の磁化方向が、磁気記録媒体8の信号磁界の大きさに応答して回転することにより、抵抗が変化し磁場を検知する。

【0049】ここで、外部磁場、保磁力及び磁化の方向の関係を説明する。

【0050】図3に示すように、交換バイアスされた軟磁性薄膜の抗磁力をH_r、他方の軟磁性薄膜の保磁力をH_{c2}、異方性磁界をH_{k2}とする（0<H_{k2}<H_r）。最初、外部磁場HをH<-H_{k2}となるように印加しておく（領域（A））。このとき、磁性薄膜2、3の磁化方向は、Hと同じ（負）方向に向いている。次に外部磁場を弱めていくと、-H_{k2}<H<H_{k2}（領域（B））において磁性薄膜2の磁化は+方向に回転し、H_{k2}<H<H_rの領域（C）では、磁性薄膜2、3の磁化方向は互いに逆向きになる。更に外部磁場を大きくしたH_r<Hの領域（D）では、磁性薄膜3の磁化も反転し、磁性薄膜2、3の磁化方向は+方向に揃って向く。

【0051】図4は本発明の磁気抵抗効果膜の作動原理を説明するR-H曲線である。

【0052】図4は縦軸に膜の抵抗R、横軸に磁界の強さHを示す。図4に示すように、この膜の抵抗は磁性薄膜2、3の相対的な磁化方向によって変化し、領域（C）で最大の値（R_{max}）をとるようになる。

【0053】また、本発明は、基板上に非磁性薄膜を介して積層した複数の磁性薄膜からなり、非磁性薄膜を介して隣り合う一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜が隣接して設けてあり、この反強磁性薄膜のバイアス磁界をH_r、他方の軟磁性薄膜の保磁力をH_{c2}としたとき、H_{c2}<H_rであることを特徴とする磁気抵抗効果膜である。

【0054】本発明の反強磁性薄膜に用いる反強磁性体は、Ni酸化膜上にNi_xCo_{1-x}酸化膜（x=0～0.9）を1から30オングストローム積層した2層膜構造を有する。または、Ni酸化膜上にNi_xCo_{1-x}酸化膜をx=0から0.9の範囲で組成変化させ1から30オングストローム積層した多層膜構造を有する。

【0055】これにより、従来用いられていたFeMn反強磁性材料に比較して耐食性が著しく向上すると共に、Ni酸化膜単層を用いた場合と比較して交換結合膜の保磁力が著しく低下し、磁気抵抗効果素子の出力のヒ

ステリシスが著しく改善される。

【0056】Ni酸化膜の膜厚は、1000オングストローム以下とすることが望ましい。これ以上の膜厚としても効果が減少することはないが、磁気抵抗効果素子における読み取り精度の観点から、膜厚が増加することにより精度が低下することにつながる。一方、Ni酸化膜の厚さの下限は、反強磁性層の結晶性が隣接する磁性層への交換結合磁界の大きさに大きく影響するため、結晶性が良好となる100オングストローム以上とすることが好ましい。また、基板温度を室温から300℃として成膜することにより、結晶性が改善されバイアス磁界が上昇する。成膜は、蒸着法、スパッタリング法、分子線エピタキシー法(MBE)等の方法で行う。また、基板としては、ガラス、Si、MgO、Al₂O₃、GaAs、フェライト、CaTi₂O₃、BaTi₂O₃、Al₂O₃-TiC等を用いることができる。

【0057】本発明では、反強磁性薄膜と磁性薄膜との間に3から30オングストロームのNi、Fe、Co又はこれらの合金層を挿入することにより、磁性膜の酸化が抑制され、熱処理をしたときの交換結合磁界の低下さらには抵抗変化率の低下が著しく改善される。

【0058】本発明では、反強磁性薄膜の表面粗さを2から30オングストロームとすることにより、その上に積層する磁性層の磁区構造が変化し、交換結合膜における保磁力が低下する。

【0059】本発明の磁性薄膜に用いる磁性体の種類は、Ni、Fe、Co、FeCo、NiFe、NiFeCo又はこれらの合金が好ましい。これにより、非磁性層/磁性層界面での伝導電子の散乱の効果が大きく現れ、より大きな抵抗変化が得られる。

【0060】各磁性薄膜の膜厚は、150オングストローム以下が望ましい。膜厚を150オングストローム以上とすると、膜厚の増加に伴って電子散乱に寄与しない領域が増加し、巨大磁気抵抗効果が小さくなってしまふ。一方、磁性薄膜の厚さの下限は特にないが、20オングストローム以下は、伝導電子の表面散乱の効果が大きくなり、磁気抵抗変化が小さくなる。また、厚さを20オングストローム以上とすれば、膜厚を均一に保つことが容易となり、特性も良好となる。また、飽和磁化の大きさが小さくなりすぎることもない。

【0061】また、反強磁性薄膜に隣接する磁性薄膜の保磁力は、基板温度を室温から300℃として反強磁性薄膜と連続して成膜することにより小さくすることが可能である。

【0062】さらに、磁性薄膜/非磁性薄膜界面にCo、FeCo、NiCo又はNiFeCoを挿入することにより、伝導電子の界面散乱確率が上昇し、より大きな抵抗変化を得ることが可能である。挿入する膜厚の下限は1オングストロームである。これ以下では、挿入効果が減少すると共に、膜厚制御も困難となる。挿入膜厚

の上限は特にないが、30オングストローム程度が望ましい。これ以上にすると、磁気抵抗効果素子の動作範囲における出力にヒステリシスが現れる。

【0063】非磁性薄膜は、磁性薄膜間の磁気相互作用を弱める役割を果す材料であり、高い磁気抵抗変化と優れた耐熱性を得るためにCu、Au、Ag、Ru、Re又はこれらの合金が好ましい。

【0064】また、本発明における酸化物反強磁性薄膜を用いたスピナル膜では、非磁性層厚に対して磁性層間の相互作用が変化するため、非磁性層厚8から12オングストローム付近で2つの磁性層が反強磁性的に結合し、ゼロ磁場前後で高い抵抗変化が得られる。

【0065】本発明の磁気抵抗効果素子において、反強磁性薄膜の比抵抗値が大きく、積層する効果が損なわれるため、反強磁性層/磁性層/非磁性層/磁性層/非磁性層/磁性層/反強磁性層とする構造に置き換えられるのが好ましい。

【0066】続いて、本発明の磁気抵抗効果素子の前記課題を解決するための手段は、反強磁性層/第1の強磁性層/非磁性層/第2の強磁性層からなる磁気抵抗効果素子、又は反強磁性層/第1の強磁性層/Co層/非磁性層/Co層/第2の強磁性層からなる磁気抵抗効果素子において、反強磁性層がNi酸化物/Co酸化物の2層膜からなり、かつ、Ni酸化物膜厚が10nm以上であり、なおかつ、Co酸化物膜厚が0.3から3.0nmとすることによる。反強磁性層がNi酸化物単層よりもNi酸化物/Co酸化物2層膜の方が良いのは、Co酸化物層の付与によりこれに隣接する第1の磁性層の保磁力が低下し、反強磁性層から固定磁性層に付与される交換結合磁界が固定磁性層保磁力を上回り、磁気抵抗効果素子のR-H曲線上のヒステリシスが低減すると同時にMR比が増大するためである。この際、Ni酸化物中のNi原子数/(Ni原子数+O原子数)が0.3~0.7であること、またCo酸化物中のCo原子数/(Co原子数+O原子数)が0.3~0.7であることが望ましい。これは、Ni酸化物及びCo酸化物が反強磁性を示し、第1の磁性層に交換異方性を付与できる範囲がこの範囲であるためである。さらには、Co酸化物層がスピネル構造であることが望ましい。これは、Co酸化物層がスピネル構造のときに反強磁性層から第1の磁性層により有効に交換異方性を付与することができたという実験結果によるものである。Ni酸化物/Co酸化物2層膜の表面粗さは、10nm以下であることが望ましい。これは、表面粗さが10nm以上では第1の強磁性層の保磁力増大により磁気抵抗効果素子のヒステリシスが増大するためである。第1及び第2強磁性層は、NiFe又はNiFeCoを主成分とする材料からなることが望ましい。さらには、第1の強磁性層がCoを主成分とする材料、第2の強磁性層がNiFe又はNiFeCoを主成分とする材料を用いることもできる。非磁

性層にはPd、Al、Cu、Ta、In、B、Nb、Hf、Mo、W、Re、Ru、Rh、Ga、Zr、Ir、Au、Agを添加することにより耐食性が向上する。非磁性層にはCu、Ag又はAuからなるグループからなる材料を用いることが望ましい。これは、Cu、Ag又はAuを用いたときに高いMR比が得られるためである。非磁性層にAg添加Cu又はRe添加Cuを主成分とする材料を用いることにより耐熱性が改善される。これは、Cuに非固溶のAg又はReが粒界に集まり、磁性層のCu層への粒界拡散を防ぐためである。強磁性層膜厚は1~10nm、素子高さは0.1~1μm、非磁性層膜厚は2~3nm、反強磁性層膜厚は10~70nmであることが望ましい。これは、強磁性層膜厚を10nm以下とすることにより第1と第2の強磁性層間の静磁結合を弱め、R-H曲線上のクロスポイント位置を改善することができるからである。ただし、1nm以下では第1及び第2強磁性層の磁化方向が平行な場合と反平行な場合とでの平均自由行程の差が減少するために、十分なMR比を得ることが難しくなる。成膜中印加磁界を回転させることにより前記非磁性薄膜を介して隣り合う磁性薄膜の磁化容易軸方向のなす角が70度から90度の範囲にあることが望ましい。これは第2の磁性層の磁化が困難軸に近い方向を向いているときに磁化反転が磁化回転モード主導型になるために、第2の強磁性層の保磁力を低減することができ、ヘッドとしたときのバルクハウゼンノイズの発生を低減できるためである。

【0067】

【発明の実施の形態】まず、本発明の磁気抵抗効果膜について図面を参照して説明する。

【0068】図1は、本発明の磁気抵抗効果膜を使用した磁気抵抗センサーの概略構成を説明する断面図である。

【0069】上述したように、磁気抵抗センサーは、基板4上に形成された人工格子膜7からなり、人工格子膜7は、反強磁性薄膜5を形成した基板4上に磁性薄膜2、3を有し、これらの隣接する磁性薄膜2、3の間に非磁性薄膜1を有する。また、磁性薄膜2には反強磁性薄膜又は永久磁石薄膜6が隣接して積層されている。

【0070】詳細な説明は、実施例の項で行う。

【0071】次に、本発明の磁気抵抗効果膜及びその製造方法については、詳細な説明を具体的な実験結果により請求項で示した材料について全て実施例の項で行う。

【0072】続いて、本発明の磁気抵抗効果素子について図面を参照して説明する。

【0073】本発明を適用したシールド型素子としては、図25及び図26のような形のものを用いることができる。

【0074】図25のタイプでは基板11上に下シールド層12、下ギャップ層13及び磁気抵抗効果素子16を積層させる。その上にギャップ規定絶縁層17を積層

させることもある。シールド層12は、適当な大きさにPR工程によりパターン化されることが多い。磁気抵抗効果素子16は、PR工程により適当な大きさ形状にパターン化されており、その端部に接するように縦バイアス層14及び下電極層15が順次積層されている。その上に上ギャップ層18、上シールド層19が、順次積層されている。

【0075】図26のタイプでは基板11上に下シールド層12、下ギャップ層13及び磁気抵抗効果素子16を積層させる。下シールド層12は、適当な大きさにPR工程によりパターン化されることが多い。磁気抵抗効果素子16は、PR工程により適当な大きさ形状にパターン化されており、その上部に一部重なるように縦バイアス層14及び下電極層15が順次積層されている。その上に上ギャップ層18、上シールド層19が順次積層されている。

【0076】図25及び図26のタイプの、下シールド層としては、NiFe、CoZr系合金、FeAlSi、窒化鉄系材料等を用いることができ、膜厚は0.5~10μmの範囲で適用可能である。下ギャップは、アルミナ以外にも、SiO₂、窒化アルミニウム、窒化シリコン等が適用可能である。0.03~0.20μm範囲での使用が望ましい。下電極としては、Zr、Ta、Moからなる単体、合金又は混合物が望ましい。膜厚範囲は0.01~0.10μmがよい。縦バイアス層としては、CoCrPt、CoCr、CoPt、CoCrTa、FeMn、NiMn、Ni酸化物、NiCo酸化物等を用いることができる。ギャップ規定絶縁層としては、アルミナ、SiO₂、窒化アルミニウム、窒化シリコン等が適用可能である。0.005~0.05μm範囲での使用が望ましい。上ギャップは、アルミナ、SiO₂、窒化アルミニウム、窒化シリコン等が適用可能である。0.03~0.20μm範囲での使用が望ましい。

【0077】図27及び図28は、本発明に用いた磁気抵抗効果素子の膜構成の概念図である。図27の例は、下地層21上にNi酸化物層22、Co酸化物層23、第1強磁性層24、第1MRエンハンス層25、非磁性層26、第2MRエンハンス層27、第2強磁性層28及び保護層29を順次積層した構造であり、図28の例は、下地層21上に第2強磁性層28、第2MRエンハンス層27、非磁性層26、第1MRエンハンス層25、第1強磁性層24、Co酸化物層23、Ni酸化物層22、および保護層29を順次積層させた構造である。

【0078】この際、第1強磁性層としてはNiFe、NiFeCo、CoZr系材料、FeCoB、センダスト、窒化鉄系材料、FeCo等を用いることができる。膜厚は1~10nm程度が望ましい。第1MRエンハンス層としてはCo、NiFeCo、FeCo等を用いる

ことができる。膜厚は0.5~2nm程度が望ましい。第1MRエンハンス層を用いない場合は、用いた場合に比べて若干MR比が低下するが、用いない分だけ作製に要する行程数は低減する。非磁性層としてはCu、Cuに1~20at%程度のAgを添加した材料、Cuに1~20at%程度のReを添加した材料を用いることができる。膜厚は、2~3nmが望ましい。第2MRエンハンス層としてはCo、NiFeCo、FeCo等を用いることができる。膜厚は、0.5~2nm程度が望ましい。第2MRエンハンス層を用いない場合は、用いた場合に比べて若干MR比が低下するが、用いない分だけ作製に要する行程数は低減する。第2強磁性層としてはNiFe、NiFeCo、CoZr系材料、FeCoB、センダスト、窒化鉄系材料、FeCo等を用いることができる。膜厚は、1~10nm程度が望ましい。第1又は第2磁性層がNiFe又はNiFeCoをベースにした材料の場合には、下地層をTa、Hf、Zr等fcc構造を有する材料にすることにより、第1又は第2強磁性層及び非磁性層の結晶性を良好にし、MR比を向上させることができる。保護層としては、Al、Si、Ta、Tiからなるグループの酸化物又は窒化物、Cu、Au、Ag、Ta、Hf、Zr、Ir、Si、Pt、Ti、Cr、Al、Cからなるグループ、又はそれらの混合物を用いることができる。用いることにより耐食性は向上するが、用いない場合は逆に製造行程数が低減し生産性が向上する。

【0079】

【実施例】まず、本発明の磁気抵抗効果膜の2つの実施例について説明する。

【0080】（実施例1）図1において、基板としてガラス基板4を用い、真空装置の中に入れ、 10^{-7} Torr台まで真空引きを行う。基板温度を室温に保ち、下地層を100オングストローム、NiMn薄膜を200オングストロームの厚さで形成し続いてNiFeを形成する。

【0081】上記のように室温で交換結合膜を形成後、270℃まで基板温度を上昇させ、10時間程度保持する。基板温度を再び室温に戻し、非磁性層及び磁性層を形成し磁気抵抗効果膜とする。

【0082】成膜は具体的には、ガラス基板両脇にNdFeB磁石を配置し、ガラス基板と平行に400Oe程度の外部磁場が印加されているような状態で行った。この試料のB-H曲線を測定すると、成膜中磁場印加方向が人工格子NiFe層の磁化容易軸となる。

【0083】そして、以下に示す人工格子膜は、約2.2~3.5オングストローム/秒の成膜速度で成膜を行った。

【0084】なお、例えばZr(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)と表示されている場合、基板上にZr薄膜を

100オングストローム、NiMn薄膜を200オングストローム積層した後、60オングストローム厚のNi80%-Fe20%の合金薄膜、25オングストローム厚のCu薄膜、60オングストローム厚のNi80%-Fe20%の薄膜を順次成膜することを意味する。

【0085】磁化の測定は、振動試料型磁力計により行った。抵抗測定は、試料から $1.0 \times 10 \text{ mm}^2$ の形状のサンプルを作製し、外部磁界を面内に電流と垂直方向になるようにかけながら、-500~500Oeまで変化させたときの抵抗計4端子法により測定し、その抵抗から磁気抵抗変化率 $\Delta R/R$ を求めた。抵抗変化率 $\Delta R/R$ は、最大抵抗値を R_{max} 、最小抵抗値を R_{min} とし、下記の数1式により計算した。

【0086】

【数1】

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R_{\text{max}} - R_{\text{min}}}{R_{\text{min}}} \times 100 (\%)$$

作製した人工格子は

1. glass/Ti(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)
2. glass/Hf(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)
3. glass/Zr(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)
4. glass/Y(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)
5. glass/Cr(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)
6. glass/Ta(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)
7. glass/Ti(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)
8. glass/ZrHf(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)
9. glass/Hf(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)
10. glass/Zr(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)
11. glass/Y(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)
12. glass/Cr(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)
13. glass/Ta(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

0) / NiFe (60) / Cu (25) / NiFe (60)

14. glass / ZrHf (100) / NiMnCr (200) / NiFe (60) / Cu (25) / NiFe (60)

である。下地層をTi、Hf、Zr、Y、Cr、Ta、ZrHfとすることにより、2.8、3.2、3.0、2.5、2.4、2.6、3.3%の抵抗変化が得られ、fct構造へ格子変態させるのに必要な時間は270℃の熱処理温度に対して、それぞれ、12、8、10、15、16、14時間であった。NiMnにC(炭素)を5%添加することにより、格子変態に要する時間が270℃の熱処理温度に対して、2~6時間に減少した。また、NiMnにCrを添加することにより耐食性が著しく向上し、その寿命は室温で15年程度と見積もられた。更に、磁性層(NiFe)/非磁性層(Cu)界面にCoを挿入することにより、4.5%程度の抵抗変化率が得られた。この人工格子膜(No. 1)のB-H曲線およびM-R曲線はそれぞれ図5、6のようになる。

【0087】図5は縦軸にM/Ms(磁化/飽和磁化)を、横軸にH(磁界の強さ)を示す本発明の磁気抵抗効果膜のB-H曲線である。図6は縦軸にMR(抵抗変化率)を、横軸にH(磁界の強さ)を示す本発明の磁気抵抗効果膜のM-R曲線である。

【0088】これらの人工格子膜をPR(フォトリソグラフィ)工程により1~3μm×2μmにパターニングし、CoPtCr膜で単磁区化することにより、ノイズが小さく、ゼロ磁場前後で直線的なRH曲線を描いた。

【0089】(実施例2)基板としてガラス基板4を用い、真空装置の中に入れ、10⁻⁷Torr台まで真空引きを行う。基板温度を室温に保ち、NiOを300オングストローム、CoO薄膜を10~40オングストロームの厚さで形成し、続いて磁性層、非磁性層及び磁性層を成膜する。

【0090】成膜は具体的には、ガラス基板両脇にNdFeB磁石を配置し、ガラス基板と平行に400 Oe程度の外部磁場が印加されているような状態で行った。この試料のB-H曲線を測定すると、成膜中磁場印加方向が人工格子NiFe層の磁化容易軸となる。

【0091】そして、以下に示す人工格子膜は、約2.2~3.5オングストローム/秒の成膜速度で成膜を行った。

【0092】なお、例えばNiO(300)/CoO(10)/NiFe(100)/Cu(25)/NiFe(100)と表示されている場合、基板上にNiO薄膜を300オングストローム、CoO薄膜を10オングストローム積層して反強磁性層を形成した後、100オングストロームのNi80%-Fe20%の合金薄膜、25オングストローム厚のCu薄膜、100オングスト

ローム厚のNi80%-Fe20%の薄膜を順次成膜することを意味する。

【0093】磁化の測定は、実施例1と同様に実施し、抵抗計化率ΔR/R、最大抵抗値をR_{max}、最小抵抗値をR_{min}を数1の式により計算した。

【0094】作製した人工格子は

1. glass / NiO(300) / CoO(10) / NiFe(100) / Cu(25) / NiFe(100)

2. glass / NiO(300) / CoO(20) / NiFe(100) / Cu(25) / NiFe(100)

3. glass / NiO(300) / CoO(40) / NiFe(100) / Cu(25) / NiFe(100)

4. glass / NiO(300) / CoO(10) / NiFe(90) / Co(10) / Cu(25) / Co(10) / NiFe(100)

である。非磁性層厚を25オングストロームとすることにより3.8%程度の抵抗変化率が得られ、磁性層(NiFe)非磁性層(Cu)界面にCoを挿入することにより、6%の抵抗変化率が得られた。また、CoO膜厚を20オングストロームとすることにより、150 Oe程度の交換結合磁界が得られた。この人工格子膜(No. 1)のB-H曲線およびM-R曲線はそれぞれ図7、8のようになる。また、これらの人工格子膜をPR工程により1~2μm×2μmにパターニングし、CoPtCr膜で単磁区化することにより、ヒステリシスが小さく、バルクハウゼンノイズのないR-H曲線を描いた。

【0095】図7は縦軸にM/Ms(磁化/飽和磁化)を、横軸にH(磁界の強さ)を示す本発明の磁気抵抗効果膜のB-H曲線である。図8は縦軸にMR(抵抗変化率)を、横軸にH(磁界の強さ)を示す本発明の磁気抵抗効果膜のM-R曲線である。

【0096】次に、本発明の磁気抵抗効果膜及びその製造方法の実施例について説明する。

【0097】基板としてガラス基板4を用い真空装置の中に入れ、10⁻⁷Torr台まで真空引きを行う。基板温度を室温~300℃に保ち、Ni酸化膜を100~600オングストローム、Co酸化膜又はNiCo酸化膜又はNiCo酸化多層膜を1から40オングストロームの厚さで形成し、続いて磁性層(NiFe、Co、FeCo、NiCo、NiFeCo)を成膜する。

【0098】上記のように室温~300℃で交換結合膜を形成後、基板温度を室温に戻し、非磁性層及び磁性層を形成し磁気抵抗効果膜とする。

【0099】そして、以下に示す人工格子膜は、酸化物反強磁性膜については1.0~1.4オングストローム/秒、磁性薄膜及び非磁性薄膜については約2.2~

3. 5オングストローム/秒の成膜速度で成膜を行った。

【0100】なお、例えば NiO_x (300) / CoO_y (10) / NiFe (60) / Cu (25) / NiFe (60) と表示されている場合、基板上に NiO_x 薄膜を300オングストローム、 CoO_y 薄膜を10オングストローム積層して反強磁性層を形成した後、60オングストロームの $\text{Ni}80\%-\text{Fe}20\%$ の合金薄膜、25オングストローム厚の Cu 薄膜、60オングストローム厚の $\text{Ni}80\%-\text{Fe}20\%$ 薄膜を順次成膜することを意味する。

【0101】作製したスピナル膜を以下に示す。

【0102】1. 非磁性層 Cu

(a) NiO_x / CoO_y 系サンプル

i. glass / NiO_x (150~500) / CoO_y (1~40) / NiFe (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

(b) NiO_x / NiCoO_y 系サンプル

i. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{O}_y$ (1~40) / NiFe (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

ii. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.3}\text{Co}_{0.7}\text{O}_y$ (1~40) / NiFe (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

iii. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_y$ (1~40) / NiFe (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

iv. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_y$ (1~40) / NiFe (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

v. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_y$ (1~40) / NiFe (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

(c) NiO_x / NiCoO_y 多層膜系サンプル

i. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.3}\text{Co}_{0.7}\text{O}_y$ (3) / NiFe (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

ii. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{O}_y$ (3) / NiFe (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

iii. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.3}\text{Co}_{0.7}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{O}_y$ (3) / NiFe (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

iv. glass / NiO_x (150~500) / Ni

$\text{O}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.3}\text{Co}_{0.7}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{O}_y$ (3) / NiFe (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

v. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.3}\text{Co}_{0.7}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{O}_y$ (3) / NiFe (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

vi. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.3}\text{Co}_{0.7}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{O}_y$ (3) / NiFe (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

2. 磁性ピンニング層 Co

(a) NiO_x / CoO_y 系サンプル

i. glass / NiO_x (150~500) / CoO_y (1~40) / Co (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

(b) NiO_x / NiCoO_y 系サンプル

i. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{O}_y$ (1~40) / Co (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

ii. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.3}\text{Co}_{0.7}\text{O}_y$ (1~40) / Co (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

iii. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_y$ (1~40) / Co (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

iv. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_y$ (1~40) / Co (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

v. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_y$ (1~40) / Co (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

(c) NiO_x / NiCoO_y 多層膜系サンプル

i. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.3}\text{Co}_{0.7}\text{O}_y$ (3) / Co (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

ii. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{O}_y$ (3) / Co (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

iii. glass / NiO_x (150~500) / $\text{NiO}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.3}\text{Co}_{0.7}\text{O}_y$ (3) / $\text{NiO}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{O}_y$ (3) / Co (20~150) / Cu (8~40) / NiFe (20~150)

ii. glass/NiO_x (150~500)/Ni
0.9Co_{0.1}O_y (3)/Ni_{0.7}Co_{0.3}O_y (3)
/Ni_{0.5}Co_{0.5}O_y (3)/Ni_{0.1}Co_{0.9}O_y

50 ii. glass / NiO_x (150~500) / Ni

$$\begin{aligned} &0.9 \text{ Co}_{0.1} \text{ O}_y \text{ (3)} / \text{Ni}_{0.7} \text{ Co}_{0.3} \text{ O}_y \text{ (3)} \\ &/ \text{Ni}_{0.5} \text{ Co}_{0.5} \text{ O}_y \text{ (3)} / \text{Ni}_{0.1} \text{ Co}_{0.9} \text{ O}_y \\ &\text{(3)} / \text{NiFe (20} \sim 150) / \text{Re (8} \sim 40) \\ &/ \text{NiFe (20} \sim 150) \end{aligned}$$

iii. glass/ NiO_x (150~500)/ $\text{Ni}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_y$ (3)/ $\text{Ni}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_y$ (3)/ $\text{Ni}_{0.3}\text{Co}_{0.7}\text{O}_y$ (3)/ $\text{Ni}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{O}_y$ (3)/ NiFe (20~150)/ Re (8~40)/ NiFe (20~150)

iv. glass/NiO_x (150~500)/Ni
0.9 Co_{0.1} O_y (3)/Ni_{0.5} Co_{0.5} O_y (3)
/Ni_{0.3} Co_{0.7} O_y (3)/Ni_{0.1} Co_{0.9} O_y
(3)/NiFe (20~150)/Re (8~40)
/NiFe (20~150)
$$\begin{aligned} & \text{v. glass/NiO}_x \text{ (150~500) /Ni} \\ & \text{O}_{0.5} \text{Co}_{0.5} \text{O}_y \text{ (3) /Ni}_{0.7} \text{Co}_{0.3} \text{O}_y \text{ (3)} \\ & \text{/Ni}_{0.3} \text{Co}_{0.7} \text{O}_y \text{ (3) /Ni}_{0.1} \text{Co}_{0.9} \text{O}_y \\ & \text{(3) /NiFe (20~150) /Re (8~40)} \\ & \text{/NiFe (20~150)} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{vi. glass/NiO}_x \text{ (150~500) /Ni} \\ & \text{O}_{0.5} \text{Co}_{0.5} \text{O}_y \text{ (3) /Ni}_{0.9} \text{Co}_{0.1} \text{O}_y \text{ (3)} \\ & \text{/Ni}_{0.3} \text{Co}_{0.7} \text{O}_y \text{ (3) /Ni}_{0.1} \text{Co}_{0.9} \text{O}_y \\ & \text{(3) /NiFe (20~150) /Re (8~40)} \\ & \text{/NiFe (20~150)} \end{aligned}$$
7. 非磁性層 $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x$

(a) $\text{NiO}_x / \text{CoO}_y$ 系サンプル

$$\text{i. glass/NiO}_x (150\sim 500) / \text{CoO}_y (1\sim 40) / \text{NiFe} (20\sim 150) / \text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x (8\sim 40) / \text{NiFe} (20\sim 150)$$

(b) $\text{NiO}_x / \text{NiCoO}_y$ 系サンプル

$$\begin{aligned} & \text{i. glass} / \text{NiO}_x \text{ (150~500)} / \text{Ni} \\ & \text{o.}_1 \text{Co}_{0.9}\text{O}_y \text{ (1~40)} / \text{NiFe (20~150)} / \text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x \text{ (8~40)} / \text{NiFe (20~150)} \end{aligned}$$

ii. glass/NiO_x (150~500)/Ni
0.3 Co_{0.7} O_y (1~40)/NiFe (20~150)
0/Cu_{1-x} Ag_x (8~40)/NiFe (20~150)

iii. glass/NiO_x (150~500)/Ni
0.5 Co_{0.5} O_y (1~40)/NiFe (20~15
0)/Cu_{1-x} Ag_x (8~40)/NiFe (20~
150)

iv. glass/NiO_x (150~500)/Ni
0.7 Co_{0.3} O_y (1~40)/NiFe (20~150)
/Cu_{1-x} Ag_x (8~40)/NiFe (20~150)

$$\begin{aligned} & \text{v. glass} / \text{NiO}_x \text{ (150} \sim \text{500)} / \text{Ni} \\ & \text{o.}_9 \text{Co}_{0.1} \text{O}_y \text{ (1} \sim \text{40)} / \text{NiFe (20} \sim \text{150)} \\ & \text{0} / \text{Cu}_{1-x} \text{Ag}_x \text{ (8} \sim \text{40)} / \text{NiFe (20} \sim \text{150)} \end{aligned}$$

(c) $\text{NiO}_x / \text{NiCoO}_y$ 多層膜系サンプル

$$\begin{aligned} &1. \text{glass} / \text{NiO}_x (150 \sim 500) / \text{Ni} \\ &0.9 \text{Co}_{0.1} \text{O}_y (3) / \text{Ni}_{0.7} \text{Co}_{0.3} \text{O}_y (3) \\ &/ \text{Ni}_{0.5} \text{Co}_{0.5} \text{O}_y (3) / \text{Ni}_{0.3} \text{Co}_{0.7} \text{O}_y \\ &(3) / \text{NiFe} (20 \sim 150) / \text{Cu}_{1-x} \text{Ag} \\ &x (8 \sim 40) / \text{NiFe} (20 \sim 150) \end{aligned}$$

ii. glass/NiO_x (150~500)/Ni_{0.9}Co_{0.1}O_y (3)/Ni_{0.7}Co_{0.3}O_y (3)/Ni_{0.5}Co_{0.5}O_y (3)/Ni_{0.1}Co_{0.9}O_y (3)/NiFe (20~150)/Cu_{1-x}Ag_x (8~40)/NiFe (20~150)

iii. glass/NiO_x (150~500)/Ni_{0.9}Co_{0.1}O_y (3)/Ni_{0.7}Co_{0.3}O_y (3)/Ni_{0.3}Co_{0.7}O_y (3)/Ni_{0.1}Co_{0.9}O_y (3)/NiFe (20~150)/Cu_{1-x}Ag_x (8~40)/NiFe (20~150)

$$\begin{aligned} & \text{iv. glass/NiO}_x \text{ (150~500) /Ni} \\ & \text{O}_{0.9} \text{Co}_{0.1} \text{O}_y \text{ (3) /Ni}_{0.5} \text{Co}_{0.5} \text{O}_y \text{ (3)} \\ & \text{/Ni}_{0.3} \text{Co}_{0.7} \text{O}_y \text{ (3) /Ni}_{0.1} \text{Co}_{0.9} \text{O}_y \\ & \text{(3) /NiFe (20~150) /Cu}_{1-x} \text{Ag} \\ & \text{x (8~40) /NiFe (20~150)} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{v. glass} / \text{NiO}_x (150 \sim 500) / \text{Ni} \\ & \text{O}_{0.5} \text{Co}_{0.5} \text{O}_y (3) / \text{Ni}_{0.7} \text{Co}_{0.3} \text{O}_y (3) \\ & / \text{Ni}_{0.3} \text{Co}_{0.7} \text{O}_y (3) / \text{Ni}_{0.1} \text{Co}_{0.9} \text{O}_y \\ & (3) / \text{NiFe} (20 \sim 150) / \text{Cu}_{1-x} \text{Ag} \\ & x (8 \sim 40) / \text{NiFe} (20 \sim 150) \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{vi. glass/NiO}_x \text{ (150~500) /Ni} \\ & \text{0.5 Co0.5 O}_y \text{ (3) /Ni0.9 Co0.1 O}_y \text{ (3)} \\ & \text{/Ni0.3 Co0.7 O}_y \text{ (3) /Ni0.1 Co0.9 O}_y \\ & \text{(3) /NiFe (20~150) /Cu}_{1-x} \text{Ag} \\ & \text{x (8~40) /NiFe (20~150)} \end{aligned}$$
8. 非磁性層 $\text{Cu}_{1-x}\text{Re}_x$

(a) $\text{NiO}_x / \text{CoO}_y$ 系サンプル

$$\text{i. glass} / \text{NiO}_x (150 \sim 500) / \text{CoO}_y (1 \sim 40) / \text{NiFe} (20 \sim 150) / \text{Cu}_{1-x}\text{Re}_x (8 \sim 40) / \text{NiFe} (20 \sim 150)$$

(b) $\text{NiO}_x / \text{NiCoO}_y$ 系サンプル

$$\begin{aligned} & \text{i. glass} / \text{NiO}_x \text{ (150~500)} / \text{Ni} \\ & \text{o. Co}_x \text{O}_y \text{ (1~40)} / \text{NiFe (20~150)} / \text{Cu}_{1-x} \text{Re}_x \text{ (8~40)} / \text{NiFe (20~150)} \end{aligned}$$

ii. glass/NiO_x (150~500)/Ni
 0.3 Co_{0.7} O_y (1~40)/NiFe (20~150)
 0)/Cu_{1-x} Re_x (8~40)/NiFe (20~150)

iii. glass/NiO_x (150~500)/Ni
0.5 Co_{0.5} O_y (1~40)/NiFe (20~150)
0)/Cu_{1-x} Re_x (8~40)/NiFe (20~150)

50 iv. glass/NiO_x (150~500)/Ni

~150) / Cu (8~40) / Ni Fe (20~150)

(e) glass/NiO_x (150~500)/CoO_y (10)/NiCo (3~30)/NiFe (20~150)/Cu (8~40)/NiFe (20~150)

10. 磁性層／非磁性層界面C₀插入

(a) $\text{NiO}_x / \text{CoO}_y$ 系サンプル

i. glass/NiO_x (150~500)/CoO_y (1~40)/NiFe (20~150)/Co (1~30)/Cu (8~40)/Co (1~30)/NiFe (20~150)

(b) $\text{NiO}_x / \text{NiCoO}_y$ 系サンプル

i. glass/NiO_x (150~500)/Ni
o. Co_{0.9}O_y (1~40)/NiFe (20~150)
0/Co (1~30)/Cu (8~40)/Co (1~30)/NiFe (20~150)

ii. glass/NiO_x (150~500)/Ni
0.3 Co_{0.7} O_y (1~40)/NiFe (20~150)
0)/Co (1~30)/Cu (8~40)/Co (1~30)/NiFe (20~150)

iii. glass/NiO_x (150~500)/Ni
0.5 Co_{0.5} O_y (1~40)/NiFe (20~150)
0)/Co (1~30)/Cu (8~40)/Co (1~30)/NiFe (20~150)

iv. glass/NiO_x (150~500)/Ni
0.7 Co_{0.3} O_y (1~40)/NiFe (20~150)
0)/Co (1~30)/Cu (8~40)/Co (1~30)/NiFe (20~150)
$$\text{v. glass} / \text{NiO}_x (150 \sim 500) / \text{Ni} \\ \text{o.}_9 \text{Co}_{0.1} \text{O}_y (1 \sim 40) / \text{NiFe} (20 \sim 150) / \text{Co} (1 \sim 30) / \text{Cu} (8 \sim 40) / \text{Co} (1 \sim 30) / \text{NiFe} (20 \sim 150)$$

(c) $\text{NiO}_x / \text{NiCoO}_y$ 多層膜系サンプル

$$\begin{aligned} & \text{i. glass/NiO}_x \text{ (150~500) /Ni} \\ & \text{0.9 Co}_{0.1} \text{O}_y \text{ (3) /Ni}_{0.7} \text{Co}_{0.3} \text{O}_y \text{ (3)} \\ & \text{/Ni}_{0.5} \text{Co}_{0.5} \text{O}_y \text{ (3) /Ni}_{0.3} \text{Co}_{0.7} \text{O}_y \\ & \text{(3) /NiFe (20~150) /Co (1~30)} \\ & \text{/Cu (8~40) /Co (1~30) /NiFe (2} \\ & \text{0~150)} \end{aligned}$$

ii. glass/NiO_x (150~500)/Ni
 0.9 Co_{0.1} O_y (3)/Ni_{0.7} Co_{0.3} O_y (3)
 /Ni_{0.5} Co_{0.5} O_y (3)/Ni_{0.1} Co_{0.9} O_y
 (3)/NiFe (20~150)/Co (1~30)
 /Cu (8~40)/Co (1~30)/NiFe (2
 0~150)

iii. glass/NiO_x (150~500)/Ni_{0.9}Co_{0.1}O_y (3)/Ni_{0.7}Co_{0.3}O_y (3)/Ni_{0.3}Co_{0.7}O_y (3)/Ni_{0.1}Co_{0.9}O_y (3)/NiFe (20~150)/Co (1~30)

31

／Cu (8～40) ／Co (1～30) ／NiFe (20～150)

iv. glass／NiO_x (150～500) ／Ni_{0.9}Co_{0.1}O_y (3) ／Ni_{0.5}Co_{0.5}O_y (3) ／Ni_{0.3}Co_{0.7}O_y (3) ／Ni_{0.1}Co_{0.9}O_y (3) ／NiFe (20～150) ／Co (1～30) ／Cu (8～40) ／Co (1～30) ／NiFe (20～150)

v. glass／NiO_x (150～500) ／Ni_{0.5}Co_{0.5}O_y (3) ／Ni_{0.7}Co_{0.3}O_y (3) ／Ni_{0.3}Co_{0.7}O_y (3) ／Ni_{0.1}Co_{0.9}O_y (3) ／NiFe (20～150) ／Co (1～30) ／Cu (8～40) ／Co (1～30) ／NiFe (20～150)

vi. glass／NiO_x (150～500) ／Ni_{0.5}Co_{0.5}O_y (3) ／Ni_{0.9}Co_{0.1}O_y (3) ／Ni_{0.3}Co_{0.7}O_y (3) ／Ni_{0.1}Co_{0.9}O_y (3) ／NiFe (20～150) ／Co (1～30) ／Cu (8～40) ／Co (1～30) ／NiFe (20～150)

である。

【0103】本発明のスピナル膜の典型的なB-H曲線及びM-R曲線は図9、10のようになる。

【0104】図11に抵抗変化率のCo酸化層厚及びNiCo酸化層厚依存性を示す。同様に図12は、抵抗変化率のNiCo酸化多層膜厚依存性である。このようにNi酸化膜上にCo酸化薄膜、NiCo酸化薄膜、NiCo酸化多層膜を数オングストロームから数十オングストローム積層することにより、抵抗変化率が緩やかに上昇する。

【0105】図13は、この時の交換結合層の交換結合磁界と保磁力のCo酸化層厚及びNiCo酸化層厚依存性を示したものである。交換結合磁界は数オングストロームから数十オングストロームの範囲でそれ程変化しないのに対し、保磁力は大きく変化する。このように、Ni酸化膜上にCo酸化層又はNiCo酸化層又はNiCo酸化多層膜層を積層することにより、スピナル膜のM-R曲線においてヒステリシスが大きく改善される。

【0106】図14は、抵抗変化率と交換結合磁界のNi酸化層厚依存性を示したものである。抵抗変化率はNi酸化層厚に殆ど影響されないが、交換結合磁界はNi酸化層厚に顕著に依存する。すなわち、Ni酸化層厚は100オングストローム以上必要となる。

【0107】下記の表1は、Ni酸化膜におけるO/Ni比を示したものである。本発明のNi酸化膜ではNi／O比が0.6～1.5であり、酸素欠陥でも酸素過剰でも同等の特性を示している。

【0108】

【表1】

32

O/Ni比

i	0.62
ii	1.20
iii	0.77
iv	1.41
v	0.72

また、図15は、O/Ni比に対する交換結合磁界の変化を示したものである。このようにO/Ni比が0.6～1.5のとき、120Oe以上の交換結合磁界が得られた。

【0109】下記の表2は、Ni酸化／NiCo酸化二層反強磁性膜においてNiCo酸化膜におけるO/NiCo比を示したものである。NiCoに対して酸素量は0.5以上の値を示している。

【0110】

【表2】

O/NiCo比

i	1.2
ii	2.4
iii	2.1
iv	0.6
v	1.6

このときのCo酸化膜のXPS結果を図16に示す。Co2pピークはその価数によりピーク形状が異なるが(ref. N. S. McIntyre and M. G. Cook, Anal. Chem. Vol. 47, No. 13, 2208 (1975))、図よりスピネル構造のCo酸化相が多く含まれる膜であることが判明する。このようなスピネル構造のCo酸化相は、室温成膜でも容易に得られる。また、図17は、O/NiCo比に対する交換結合層の保磁力と交換結合磁界の変化を示したものである。このようにO/NiCo比を0.5～2.5の範囲とすることにより、交換結合磁界>保磁力となり、磁気抵抗効果素子の出力にヒステリシスが見られなくなる。

【0111】図18は交換結合層の保磁力を反強磁性層の表面粗さに対して示したものである。交換結合層の保磁力は、反強磁性層の表面組成だけではなく、表面粗さにも関係することが判明する。これは、表面粗さにより上に積層する磁性層の磁区構造が影響されるためであ

り、3～30オングストロームの表面粗さのとき、保磁力が極小となり、スピバルブ膜としてのMR特性が良好となる。

【0112】図19は、非磁性材料を変えたときの抵抗変化率の熱処理温度依存を示したものである。抵抗変化率は、非磁性材料をCuAg合金又はCuRe合金とすることにより、より高い温度まで維持されることが判明する。これは、NiとCuの合金化を、結晶粒界にAg又はReが析出することにより抑制するからである。

【0113】図20は、抵抗変化率の非磁性層厚依存を示したものである。本発明のスピバルブ膜では、このように非磁性層厚に対し、抵抗変化率はピークを二つ持つ。これは磁性層間に反強磁性的相互作用が現れるためである。抵抗変化率としては、非磁性層厚20～30オングストロームで6.5%、10オングストロームで10%を得た。

【0114】図21は、抵抗変化率の磁性層厚依存を示したものである。抵抗変化率は、磁性層厚40～70オングストロームにおいて極値を示すことが判明する。また、Co系の強磁性材料を用いることにより磁性層／非磁性層界面での電子散乱確率が上昇し、より高い抵抗変化率(10%)を得た。

【0115】図22は、磁性層／非磁性層界面にCo系合金(Co、FeCo、NiCo、NiFeCo)を挿入したときの抵抗変化率の膜厚依存を示したものである。1オングストローム以上の挿入により効果が現れ、10オングストローム以上ではその効果が飽和してしまうことが判明する。このとき、磁界を検知する磁性層の保磁力は、Co挿入30オングストローム以上では100e程度となり、スピバルブ膜のMR特性にヒステリシスが生じ易くなる。

【0116】図23は、反強磁性薄膜と磁性薄膜の界面にFe、Ni、Co又はこれらの合金を挿入したときの交換結合磁界の熱処理温度依存を示したものである。酸化物反強磁性薄膜と磁性薄膜との間に酸化防止膜を挿入することにより、磁性層酸化による交換結合磁界低下が抑制され、300℃の熱処理に対しても1500e程度の交換結合磁界を維持した。

【0117】図24は、本発明のスピバルブ膜を素子高さ1μm、素子幅1.2μmとし、隣接して磁区安定化膜としてCoCrPt永久磁石膜を配置したときの素子のMR曲線を示したものである。これより、永久磁石薄膜により磁区安定化が図られ、バルクハウゼンジャンプなどの非直線的な出力が回避されると共に、通常の異方性磁気抵抗効果と比較して6～10倍程度の出力が得られた。

【0118】続いて、本発明の磁気抵抗効果素子の実施例について説明する。

【0119】初めに、下記の表3に示した構成並びに各層の材質及び膜厚の磁気抵抗効果素子を作製した。

【0120】

【表3】

	材 質	膜 厚 (nm)
Ni酸化物層	Ni_xO_{1-x}	0～200
Co酸化物層	Co_xO_{1-x}	1
第1強磁性層	NiFe	6
第1MRエンハンス層	Co	1
非 磁 性 層	Cu	2.5
第2MRエンハンス層	Co	1
第2強磁性層	NiFe	6

このときの素子MR比とNi酸化物膜厚との関係を図29に示す。MR比は、Ni酸化物膜厚の減少にともない、60nmまではほとんど変化しないが、それ以下では減少し、10nmを切るあたりでほとんど零になる。磁気抵抗効果素子として用いるためにはNi酸化物膜厚が10nm以上であることが必要であることが判明する。

【0121】次に、下記の表4に示した構成並びに各層の材質及び膜厚の磁気抵抗効果素子を作製した。

【0122】

【表4】

	材 質	膜 厚 (nm)
Ni酸化物層	Ni_xO_{1-x}	30
Co酸化物層	Co_xO_{1-x}	0～5
第1強磁性層	Co	40
非 磁 性 層	Cu	26
第2強磁性層	NiFe	60

このときの素子保磁力Hc及び交換結合磁界HexとCo酸化物膜厚との関係を図30に示す。Hc、HexともCo酸化物層膜厚の増加にともない減少するが、HcとHexとでその減少の仕方が異なるため、Hex>Hcとなる範囲は0.3～3nmである。本タイプの磁気抵抗効果素子においてはHex>Hcとなることが望ましいので、Co酸化物層膜厚は0.3～3.0nmにする必要がある。

【0123】次に、下記の表5に示した構成並びに各層

の材質及び膜厚の磁気抵抗効果素子を作製した。

【0124】

【表5】

	材 質	膜 厚 (nm)
Ni酸化物層	NiO	30
Co酸化物層	CoO	1.0
第1強磁性層	FeCo	4.0
非 磁 性 層	Cu	2.3
第2強磁性層	NiFeCo	6.0

図31は、この素子におけるNi酸化物層中のNi原子数/(Ni原子数+O原子数)と交換結合磁界Hexとの関係であり、図32は、Co酸化物層中のCo原子数/(Co原子数+O原子数)と交換結合磁界Hexとの関係である。Ni酸化物層、Co酸化物層の両方の場合において、0.3~0.7の範囲でHexが正の値を示し、この範囲にあることが必要であることがわかる。Co酸化物層に関しては0.4付近でピークをとっているが、この時の膜構造をX線電子分光法により調べたところ、Co₃O₄スピネルが主成分であることが判明した。

【0125】次に表5に示した構成および各層の材質及び膜厚の磁気抵抗効果素子を作製し、Ni酸化物/Co酸化物成膜直後の表面粗さと保磁力Hc および交換結合磁界Hexとの関係を調べた(図33)。表面粗さの増大にともない、Hcは増大し、Hexは減少する。磁気抵抗効果素子として望ましいHex>Hcを満たす範囲は、表面粗さが10nm以下であることが判明する。

【0126】次に、アルミナ下地層/Ni酸化物(30nm)/Co酸化物(0.9nm)/第1の強磁性層(4nm)/Cu層(2.5nm)/第2の強磁性層(6nm)/Ta保護層(1.5nm)という構成で、第1及び第2の強磁性層に種々の材料を用いて磁気抵抗効果素子を試作した。それぞれの素子のMR比を下記の表6に示す。

【0127】

【表6】

10

第1の強磁性層	第2の強磁性層	MR比(%)
NiFe	NiFe	6
NiFeCo	NiFe	7
Co	NiFe	8
FeCo	NiFe	8
NiFe	NiFeCo	8
NiFeCo	NiFeCo	10
Co	NiFeCo	11
FeCo	NiFeCo	11
NiFe	FeCo	8
NiFeCo	FeCo	9
Co	FeCo	12
FeCo	FeCo	13

次に、非磁性層として用いるCuに種々の元素を転化してその腐食電位を測定した。結果を下記の表7に示す。いずれの元素の添加によっても腐食電位の値は、改善されている。

【0128】

【表7】

40

Cu 層への添加物	腐食電位 (mV)
なし	-310
Pd	-410
Al	-320
Pt	-510
Ta	-420
In	-340
B	-330
Nb	-350
Hf	-450
Mo	-370
W	-380
Re	-470
Ru	-440
Rh	-400
Ga	-330
Zr	-410
Ir	-430
Au	-500
As	-420

次に、下記の表 8 の構成で磁気抵抗効果素子を作製し、Cu への Ag 添加量を種々に変えて、1 時間の熱処理により MR 比が熱処理前の 50 % に低下した熱処理温度 T を求めた。

【0129】

【表 8】

	材 質	膜 厚 (nm)
Ni 酸化物層	NiO	25
Co 酸化物層	CoO	0.7
第 1 強磁性層	NiFe	3.0
第 1 MR エンハンス層	FeCo	1.0
非 磁 性 層	Ag 又は Re 添加 Cu	3.0
第 2 MR エンハンス層	FeCo	1.0
第 2 強磁性層	NiFe	5.0

下記の表 9 に示すように、T は、Ag 添加量の増大に伴い単調に増大した。

【0130】

【表 9】

Cu 層への Ag 添加量 (at%)	1 時間の熱処理により MR 比が 50 % に低下 する熱処理温度 (°C)
0	220
2	230
3	240
5	250
7	260
10	270
15	275
20	275
30	280
40	280
50	280

10

20 次に表 8 の構成で磁気抵抗効果素子を作製し、Cu への Re 添加量を種々に変えて、1 時間の熱処理により MR 比が熱処理前の 50 % に低下した熱処理温度 T を求めた。

【0131】 下記表 10 に示すように、T は Re 添加量の増大に伴い単調に増大した。

【0132】

【表 10】

Cu 層への Re 添加量 (at%)	1 時間の熱処理により MR 比が 50 % に低下 する熱処理温度 (°C)
0	220
2	225
3	235
5	250
7	260
10	270
15	270
20	275
30	280
40	280
50	280

30

40

次に、第 1 の強磁性層と第 2 の強磁性層の容易軸のなす角度 θ と第 2 の強磁性層の保磁力 H_c との関係を調べた (図 34)。膜構成は、下記の表 11 に示したものをを用いた。

50

【0133】

【表11】

	材 質	膜 厚 (nm)
Ni酸化物層	$Ni_x O_{1-x}$	30
Co酸化物層	$Co_x O_{1-x}$	1.0
第1強磁性層	NiFe	3.0
第1MRエンハンス層	Co	0.7
非磁性層	Cu	25
第2MRエンハンス層	Co	0.7
第2強磁性層	NiFe	6.0
保護層	Cu	1.5

θ の増大に伴いHcは単調に減少し、70から90度の範囲で10e以下になった。この範囲が素子のヒステリシスを低減させ、ヘッドのバルクハウゼンノイズを低下させる上で、より望ましい範囲であることが判明する。

【0134】次に図26及び表12のような構成、材質および膜厚を用いてヘッドを試作した。

【0135】

【表12】

	材 質	膜 厚 (nm)
下シールド層	NiFe	2
下ギャップ層	アルミナ	0.07~0.15
下電極層	Mo	0.05
縦バイアス層	CoCrPt	0.025
磁気抵抗効果素子	図25及び表4参照	
ギャップ規定絶縁層	アルミナ	0.01
上ギャップ層	アルミナ	0.07~0.15
上シールド層	NiFe	2

この際、下記の表13に示す構成の磁気抵抗効果素子を用いた。

【0136】

【表13】

	材 質	膜 厚 (nm)
Ni酸化物層	$Ni_x O_{1-x}$	25
Co酸化物層	$Co_x O_{1-x}$	1
第1強磁性層	NiFe	1~20
第1MRエンハンス層	Co	1
非磁性層	Cu	1~4
第2MRエンハンス層	Co	1
第2強磁性層	NiFe	2~20
保護層	Cu	1.5

図35に上ギャップ層及び下ギャップ層膜厚を変えた場合の、クロスポイントと第1強磁性層膜厚との関係、図36にクロスポイントが0.5になる第1強磁性層膜厚と上ギャップ層及び下ギャップ層膜厚との関係を示す。この際、上ギャップ層と下ギャップ層の膜厚は、等しくなるように設定している。第2磁性層膜厚は、6nmに固定している。クロスポイントの定義は図37に示す。クロスポイントは、第1磁性層膜厚の増加にともない、減少した。また、クロスポイント0.5を与える第1磁性層の膜厚は、上ギャップ層及び下ギャップ層膜厚の増加に伴い直線的に減少するが、このギャップ範囲ではいずれも10nm以下になっている。

【0137】図38に上ギャップ層および下ギャップ層膜厚を変えた場合の、クロスポイントと第2強磁性層膜厚との関係、図39にクロスポイントが0.5になる第1強磁性層膜厚と上ギャップ層及び下ギャップ層膜厚との関係を示す。この際、上ギャップ層と下ギャップ層の膜厚は等しくなるように設定している。第1磁性層膜厚は6nmである。クロスポイントの定義は図37に示す。クロスポイントは第2磁性層膜厚の増加にともない、減少した。また、クロスポイント0.5を与える第2磁性層の膜厚は、上ギャップ層及び下ギャップ層膜厚の増加に伴い直線的に減少するが、このギャップ範囲ではいずれも10nm以下になっている。

【0138】下記の表14は、第1反強磁性層膜厚を5~100nmで変えた場合の出力信号半値幅である。

【0139】

【表14】

反強磁性層膜厚 (nm)	出力信号半値幅 (ns)
5	12
10	15
20	20
30	25
50	30
100	50

記録再生時の媒体の線速は、 10 m/s である。 2 Gb/in^2 程度以上の高記録密度実現のためには、出力信号半値幅は 25 ns 以下であることが必要であるが、この条件は第1反強磁性層膜厚が 30 nm 以下で実現された。

【0140】図40は、素子高さと出力電圧との関係である。センス電流は $2 \times 10^{-7}\text{ A/cm}^2$ 、トラック幅は $1\text{ }\mu\text{m}$ とした。素子高さが小さくなると、出力電圧は大きくなる。一般に出力電圧としては $400\text{ }\mu\text{V}$ 程度が必要とされているが、この条件を満たす素子高さの範囲は $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが判明する。

【0141】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、ゼロ磁場前後で直線的に抵抗変化し、しかも耐食性に優れたスピナル多層膜を得ることができる。このとき交換結合層の保磁力も小さく、磁気抵抗効果素子としたときのヒステリシスも著しく軽減される。また、耐熱性も著しく改善され、 300°C の熱処理に対してもほとんど特性変化が見られなくなる。

【0142】また、本発明によれば、良好な、耐食性、交換結合磁界、ヒステリシス特性、MR比、クロスポイント及び出力信号半値幅をもつ、磁気抵抗効果素子、シールド型磁気抵抗効果センサ、磁気抵抗検出システム及び磁気記憶システムを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の磁気抵抗効果膜を使用した磁気抵抗センサーの概略構成を説明する断面図である。

【図2】本発明の磁気抵抗効果膜を使用した磁気抵抗センサーの概略構成を説明する展開斜視図である。

【図3】本発明の磁気抵抗効果膜の作動原理を説明するB-H曲線である。

【図4】本発明の磁気抵抗効果膜の作動原理を説明するR-H曲線である。

【図5】本発明の磁気抵抗効果膜のB-H曲線である。

【図6】本発明の磁気抵抗効果膜のM-R曲線である。

【図7】本発明の磁気抵抗効果膜のB-H曲線である。

【図8】本発明の磁気抵抗効果膜のM-R曲線である。

【図9】本発明の磁気抵抗効果膜のB-H曲線である。

【図10】本発明の磁気抵抗効果膜のM-R曲線である。

【図11】本発明の磁気抵抗効果膜の抵抗変化率のC_o酸化層厚及びN_iC_o酸化層厚依存である。

【図12】本発明の磁気抵抗効果膜の抵抗変化率のN_iC_o酸化多層膜厚依存である。

【図13】本発明の磁気抵抗効果膜の交換結合層の交換結合磁界及び保磁力のC_o酸化層厚及びN_iC_o酸化層厚依存である。

【図14】本発明の磁気抵抗効果膜の抵抗変化率及び交換結合磁界のN_i酸化層厚依存である。

【図15】本発明の磁気抵抗効果膜の交換結合磁界のO/N_i比依存である。

【図16】本発明の磁気抵抗効果膜のC_o酸化膜のXPS分析結果である。

【図17】本発明の磁気抵抗効果膜の交換結合磁界及び交換結合層の保磁力のO/N_iC_o比依存である。

【図18】本発明の磁気抵抗効果膜の交換結合層の保磁力の反強磁性体表面粗さ依存である。

【図19】本発明の磁気抵抗効果膜の抵抗変化率の熱処理温度依存である。

【図20】本発明の磁気抵抗効果膜の抵抗変化率の非磁性層厚依存である。

【図21】本発明の磁気抵抗効果膜の抵抗変化率の酸性層厚依存である。

【図22】本発明の磁気抵抗効果膜の抵抗変化率のC_o系合金挿入厚依存である。

【図23】本発明の磁気抵抗効果膜の交換結合磁界の熱処理温度依存である。

【図24】本発明の磁気抵抗効果素子のM-R曲線である。

【図25】本発明のシールド型磁気抵抗効果センサーの一実施形態の断面図である。

【図26】本発明のシールド型磁気抵抗効果センサーの他の一実施形態の断面図である。

【図27】本発明の磁気抵抗効果素子の膜構成の一概念図である。

【図28】本発明の磁気抵抗効果素子の膜構成の他の一概念図である。

【図29】本発明の磁気抵抗効果素子のN_i酸化物層膜厚とMR比との関係を示すグラフである。

【図30】本発明の磁気抵抗効果素子のC_o酸化物層膜厚と第2強磁性層の保磁力H_c及び交換結合磁界H_{e_x}との関係を示すグラフである。

【図 3 1】本発明の磁気抵抗効果素子のNi酸化物層中のNi原子数/(Ni原子数+O原子数)と交換結合磁界 H_{ex} との関係を示すグラフである。

【図 3 2】本発明の磁気抵抗効果素子のCo酸化物層中のCo原子数/(Co原子数+O原子数)と交換結合磁界 H_{ex} との関係を示すグラフである。

【図 3 3】本発明の磁気抵抗効果素子の表面粗さと第2強磁性層の保磁力 H_c 及び交換結合磁界 H_{ex} との関係を示すグラフである。

【図 3 4】本発明の磁気抵抗効果素子の第1強磁性層と第2強磁性層との容易軸がなす角度と第2強磁性層の保磁力 H_c との関係を示すグラフである。

【図 3 5】本発明の磁気抵抗効果素子の第1強磁性層膜厚とクロスポイントとの関係を示すグラフである。

【図 3 6】本発明の磁気抵抗効果素子の上ギャップ層及び下ギャップ層膜厚とクロスポイント0.5を与える第1磁性層膜厚との関係を示すグラフである。

【図 3 7】本発明の磁気抵抗効果素子のクロスポイントの定義を示す図である。

【図 3 8】本発明の磁気抵抗効果素子の第2強磁性層膜厚とクロスポイントとの関係を示すグラフである。

【図 3 9】本発明の磁気抵抗効果素子の上ギャップ層及び下ギャップ層膜厚とクロスポイント0.5を与える第2磁性層膜厚との関係を示すグラフである。

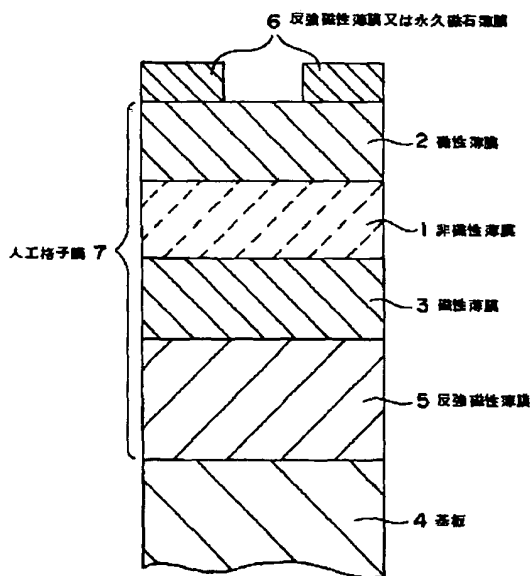
【図 4 0】本発明の磁気抵抗効果素子の素子高さと出力電圧との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

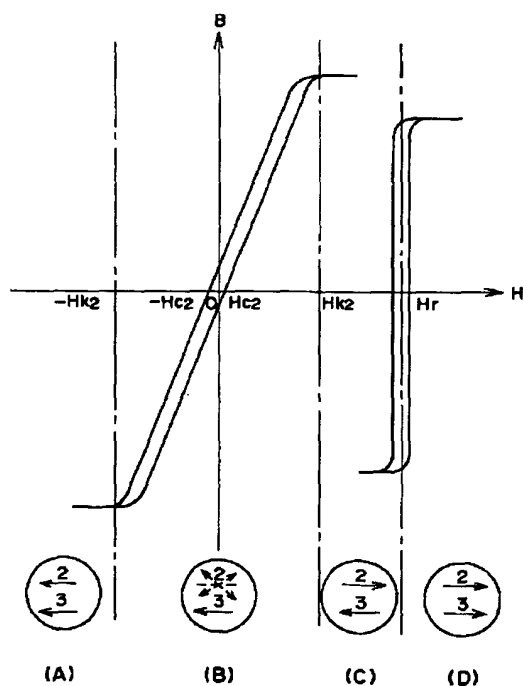
- 1 非磁性薄膜
- 2 磁性薄膜
- 3 磁性薄膜
- 4 基板
- 5 反強磁性薄膜
- 6 反強磁性薄膜又は永久磁石薄膜
- 7 人工格子膜
- 8 磁気記録媒体

- 11 基板(下地層)
- 12 下シールド層
- 13 下ギャップ層
- 14 縦バイアス層
- 15 下電極層
- 16 磁気抵抗効果素子
- 17 ギャップ規定絶縁層
- 18 上ギャップ層
- 19 上シールド層
- 21 下地層
- 22 Ni酸化物層
- 23 Co酸化物層
- 24 第1強磁性層
- 25 第1MRハンス層
- 26 非磁性層
- 27 第2MRハンス層
- 28 第2強磁性層
- 29 保護層

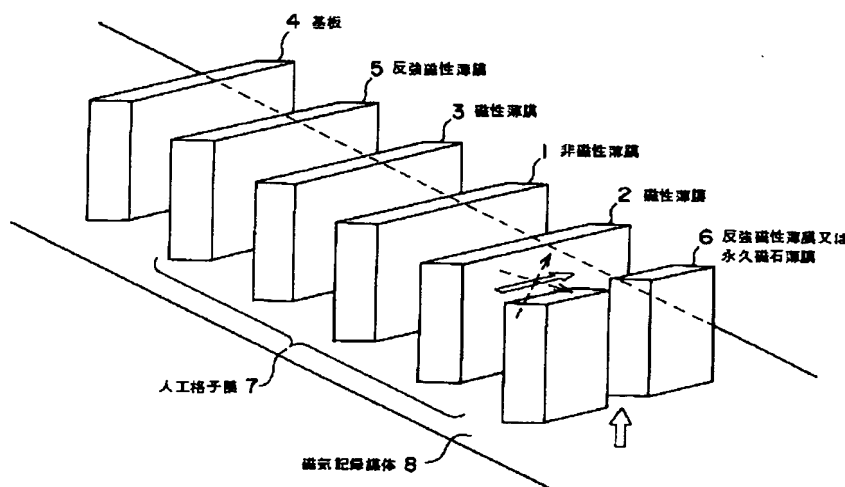
【図 1】



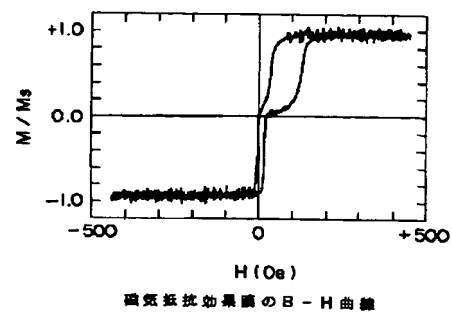
【図 3】



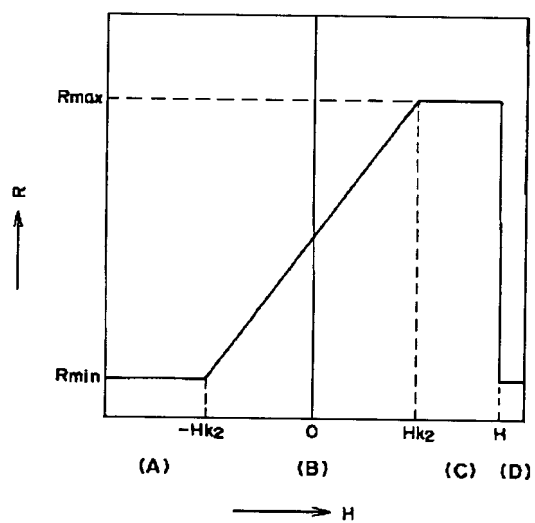
【図 2】



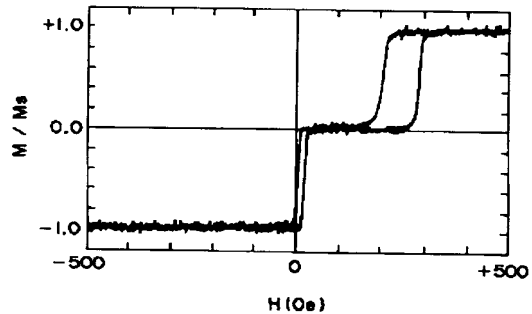
【図 9】



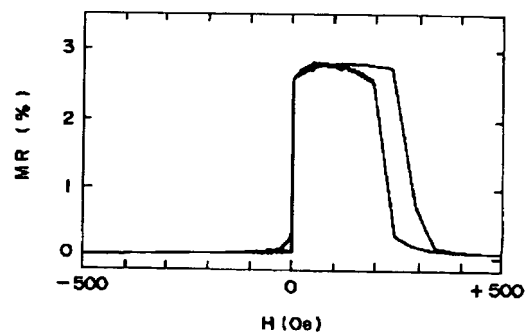
【図 4】



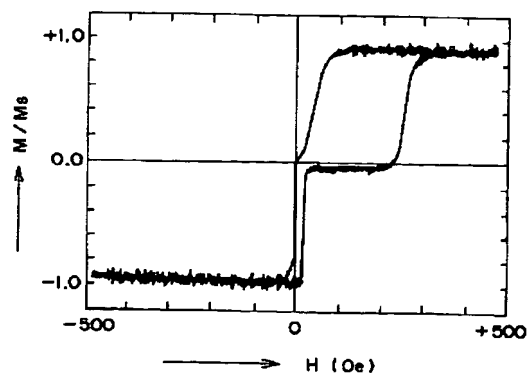
【図 5】



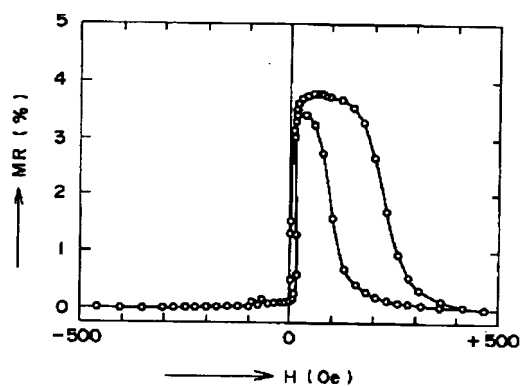
【図 6】



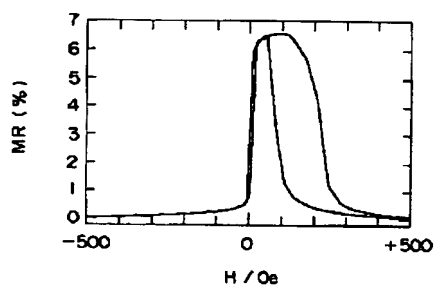
【図 7】



【図8】

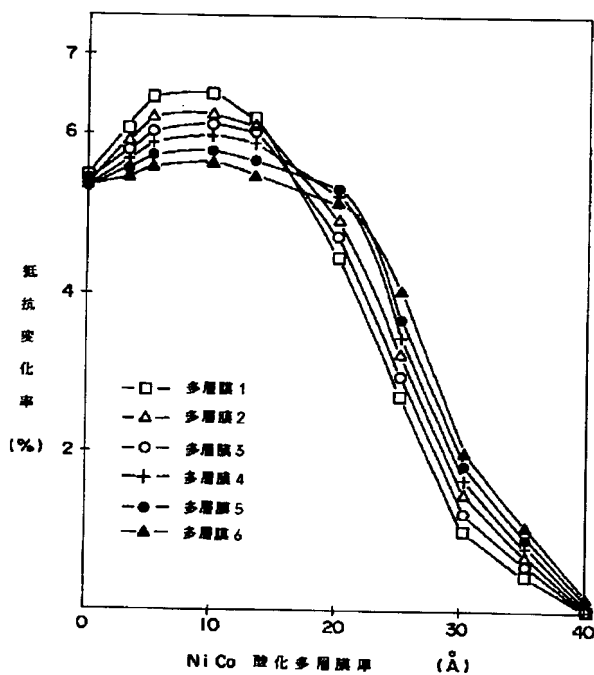


【図10】



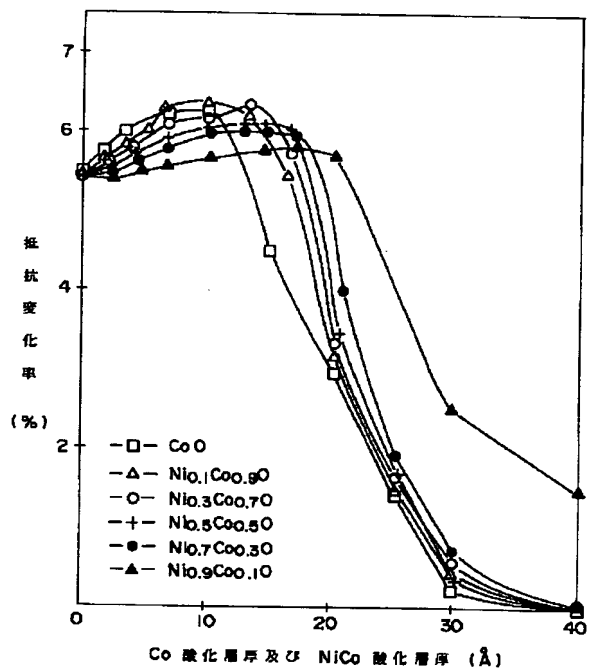
磁気抵抗効果膜のM-R曲線

【図12】



抵抗変化率のNiCo酸化多層膜厚依存

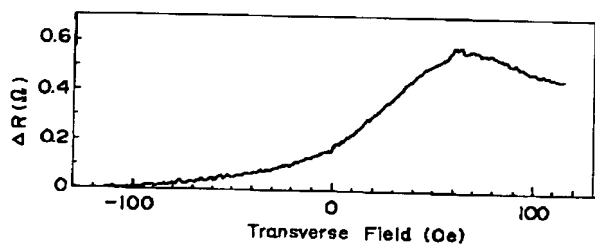
【図11】



抵抗変化率のCo酸化層厚及び

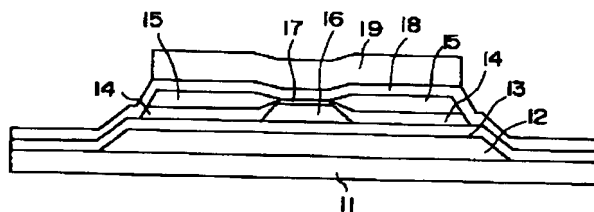
NiCo酸化層厚依存

【図24】

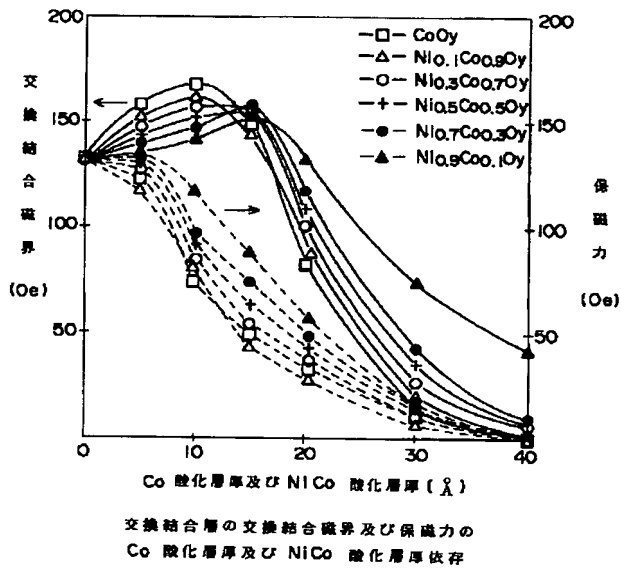


磁気抵抗効果素子のM-R曲線

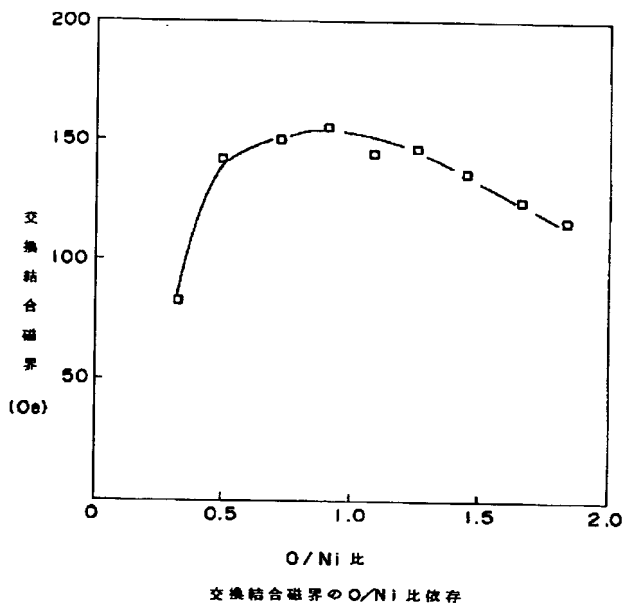
【図25】



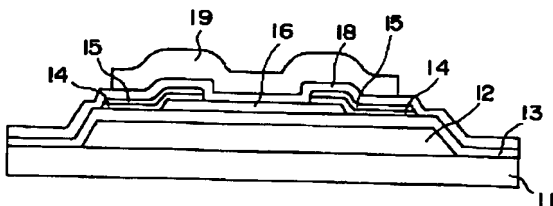
【図13】



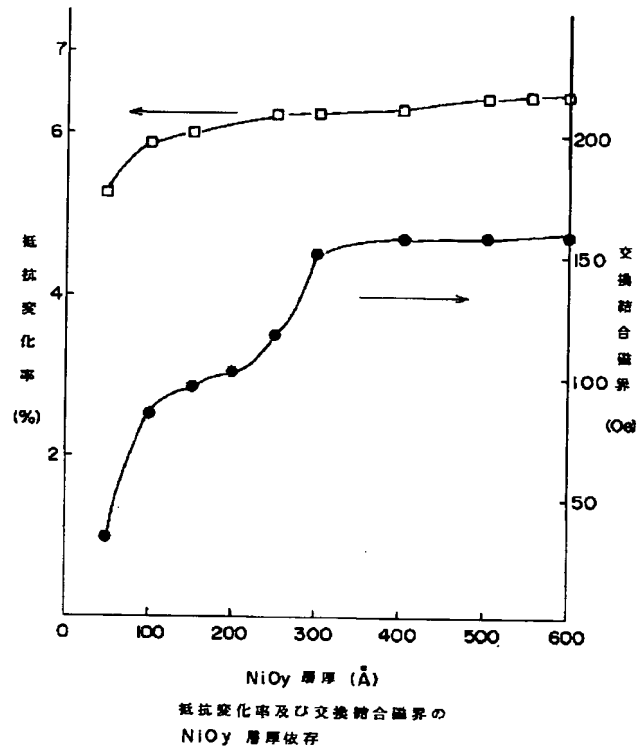
【図15】



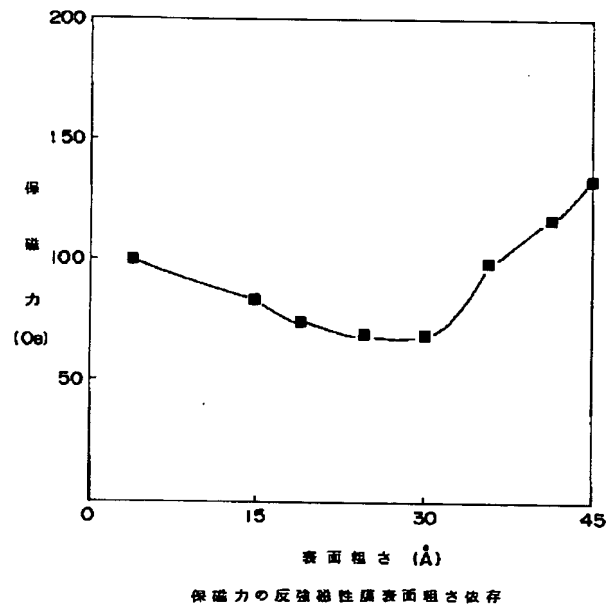
【図26】



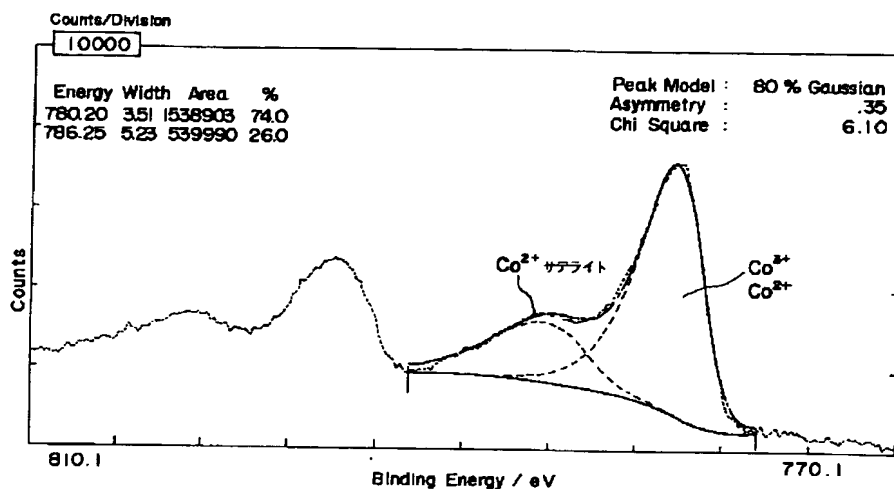
【図14】



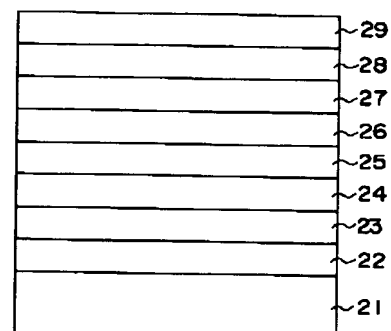
【図18】



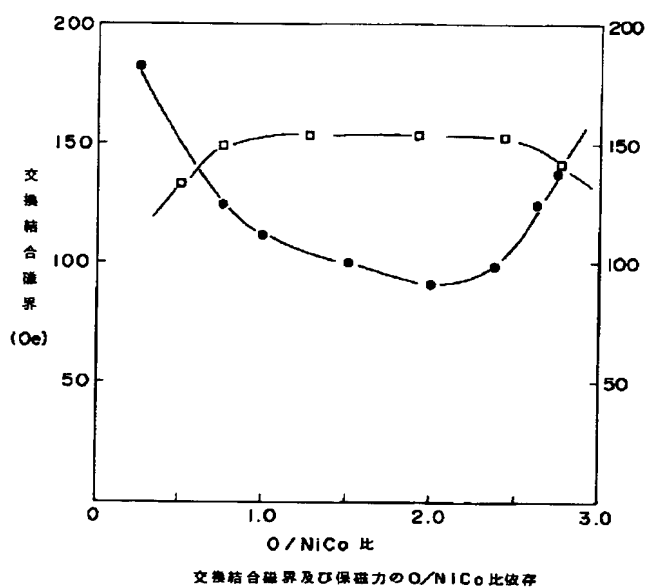
【図16】



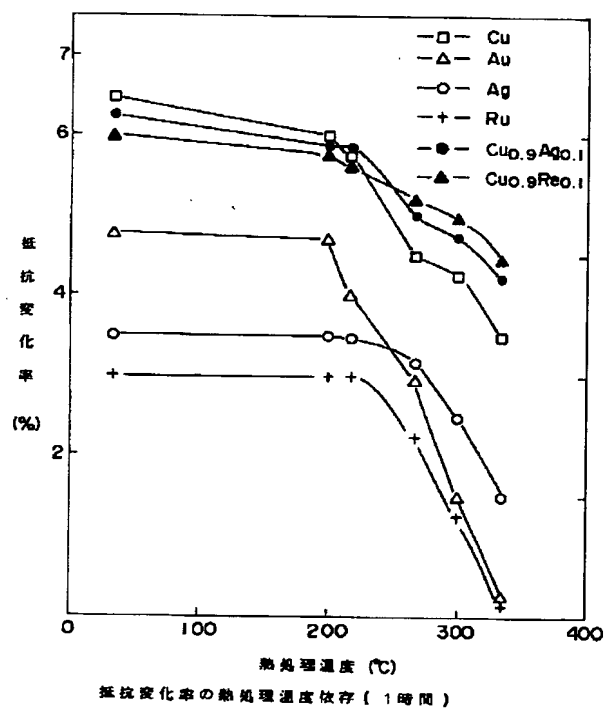
【図27】



【図17】

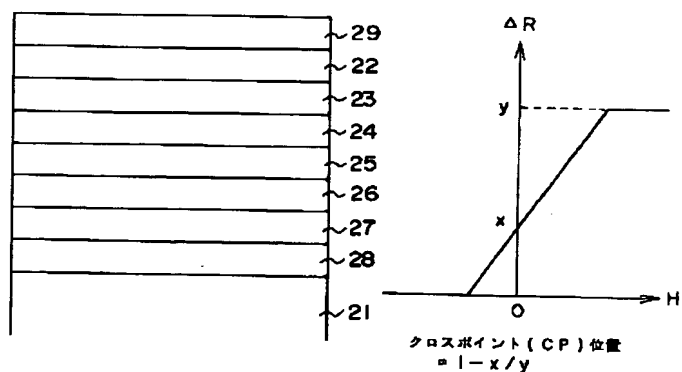


【図19】

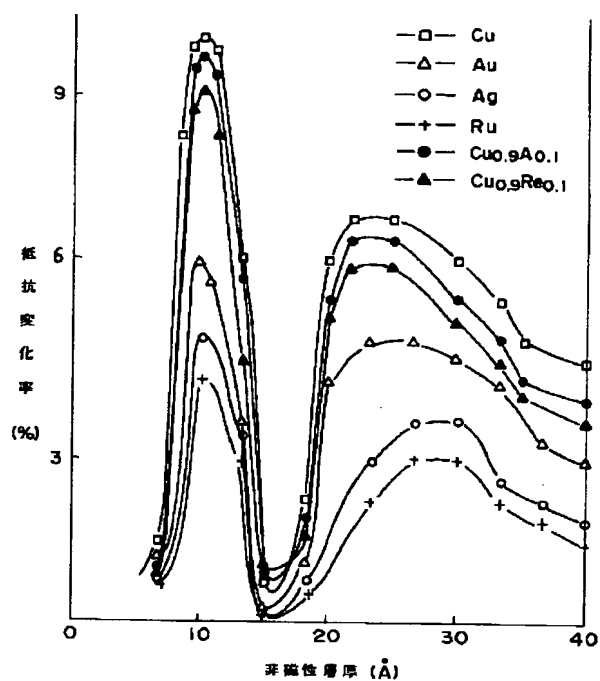


【図28】

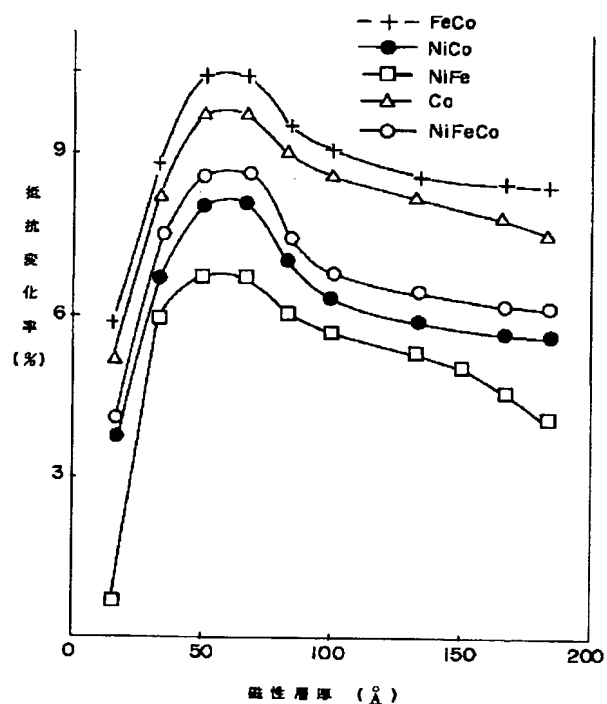
【図37】



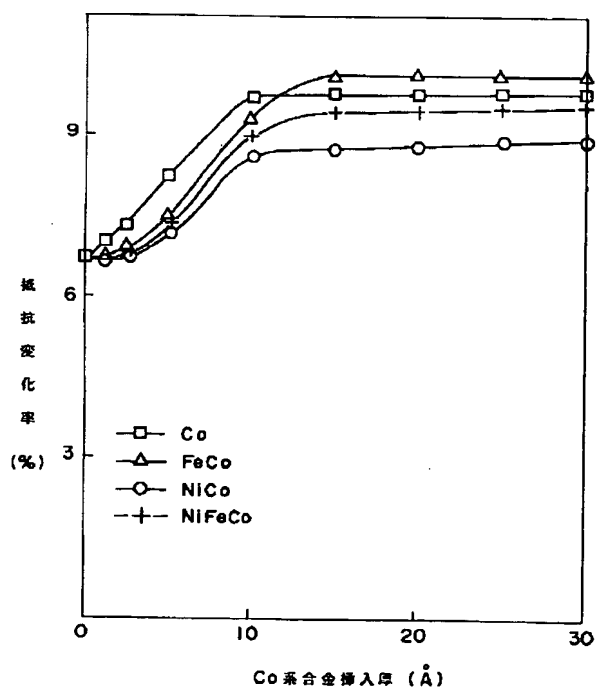
【図20】



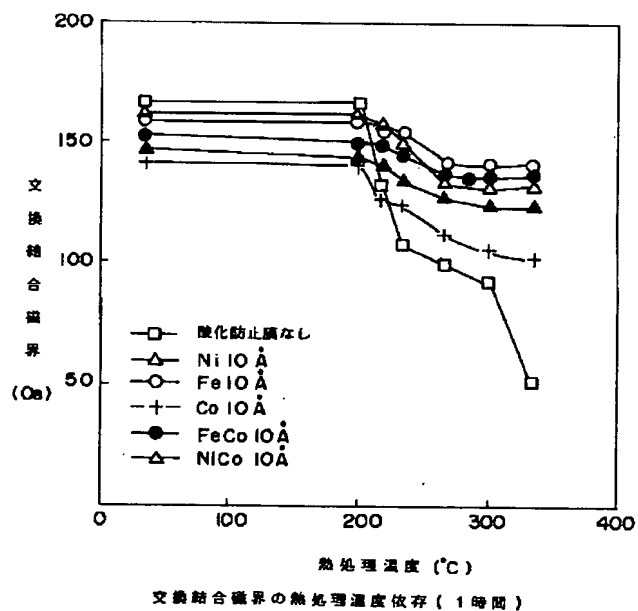
【図21】



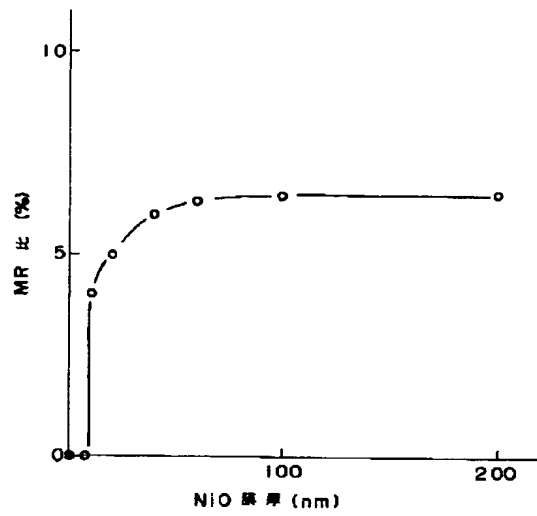
【図22】



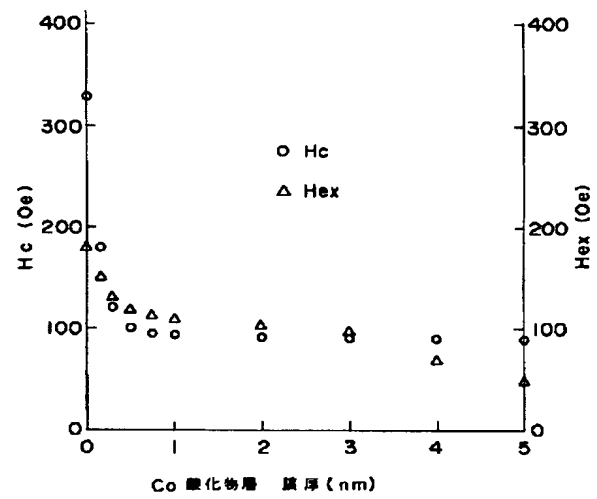
【図23】



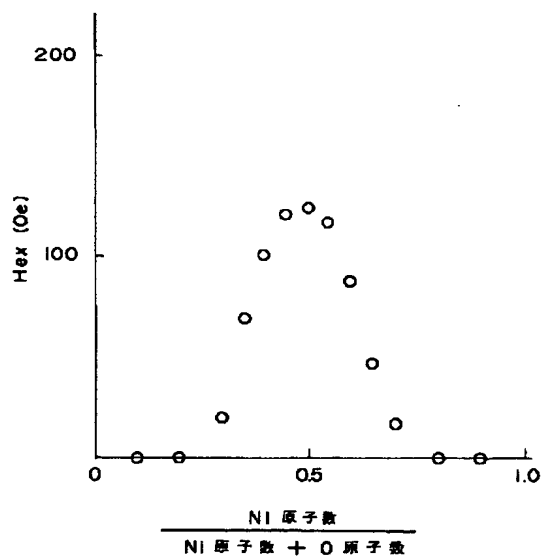
【図29】



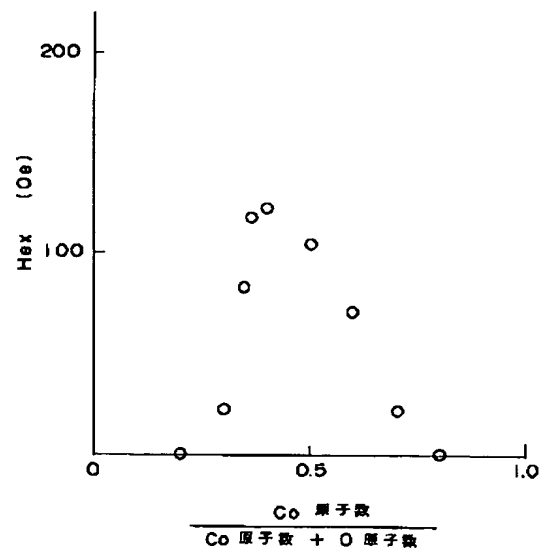
【図30】



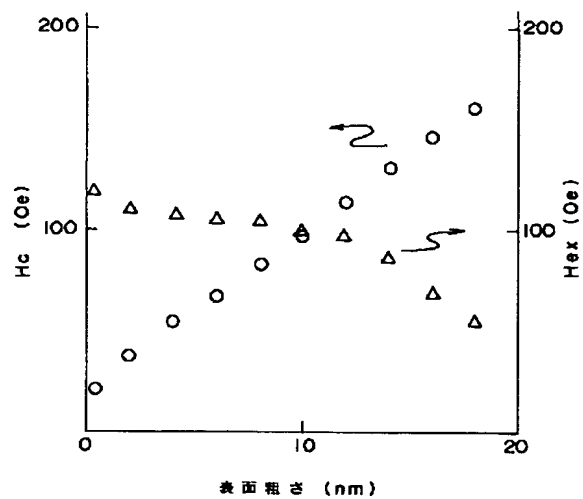
【図31】



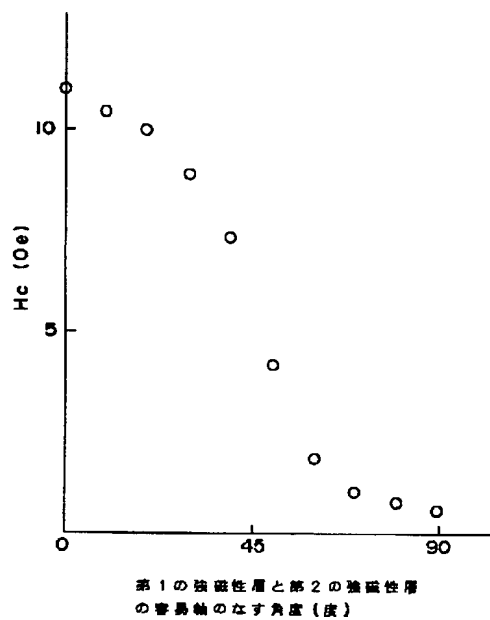
【図32】



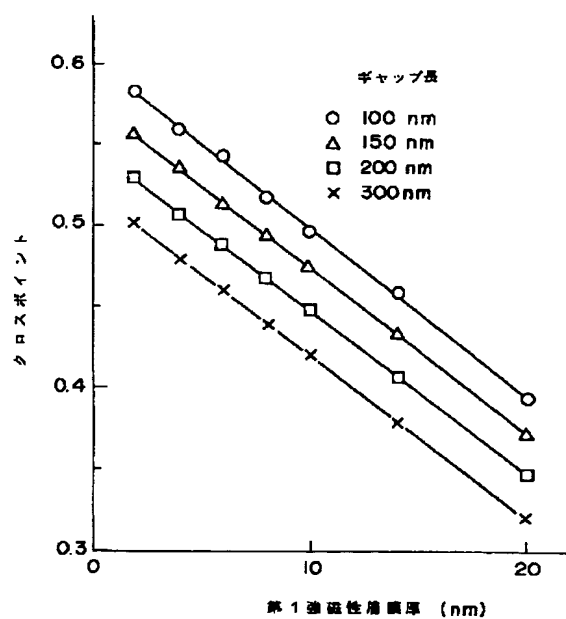
【図33】



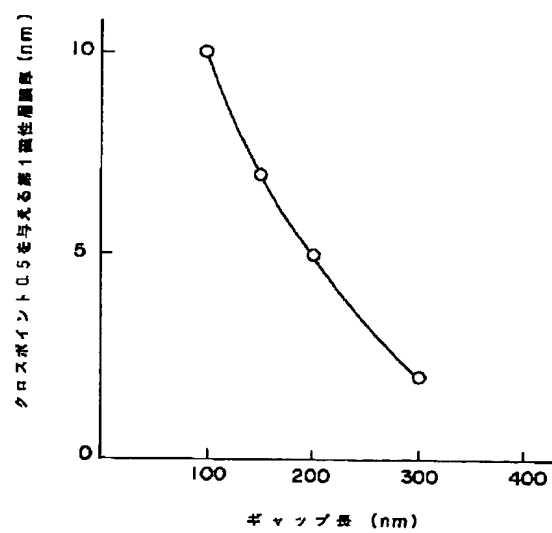
【図34】



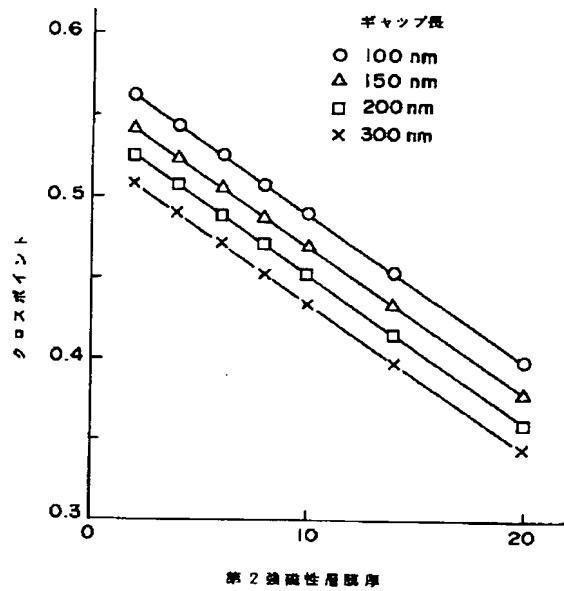
【図35】



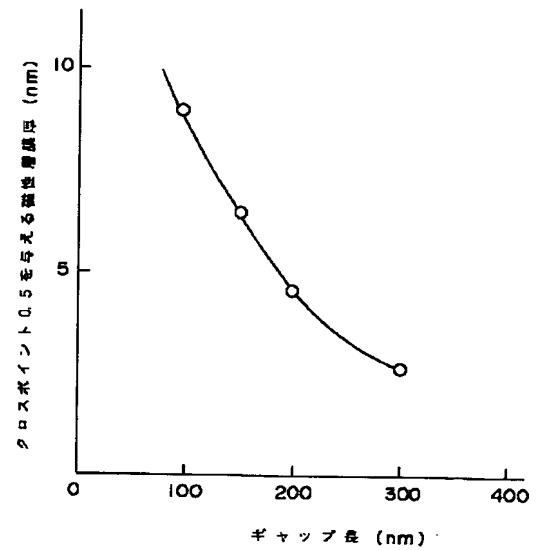
【図36】



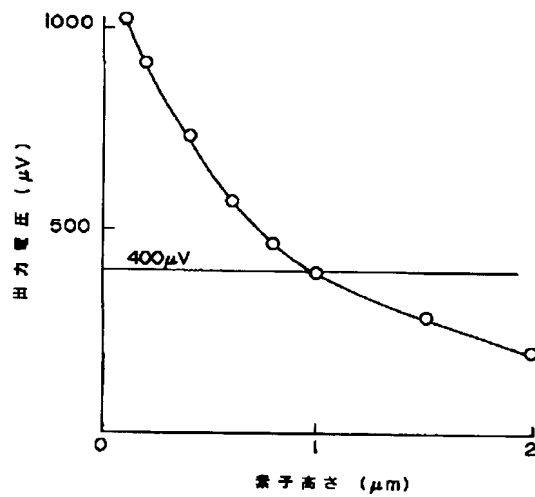
【図38】



【図39】



【図40】



フロントページの続き

(72)発明者 山本 英文
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
式会社内

(72)発明者 石原 邦彦
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
式会社内

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-050611

(43)Date of publication of application : 18.02.1997

51)Int.Cl.

G11B 5/39

21)Application number : 07-344066

(71)Applicant : NEC CORP

22)Date of filing : 28.12.1995

(72)Inventor : FUJIKATA JUNICHI
HAYASHI KAZUHIKO
NAKADA MASABUMI
YAMAMOTO HIDEFUMI
ISHIHARA KUNIIKO

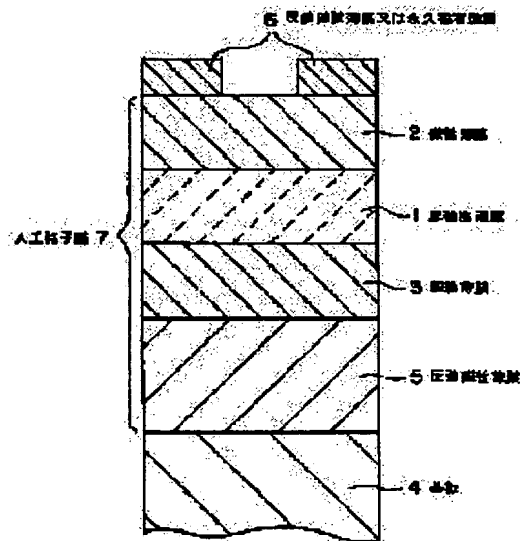
30)Priority

Priority number : 07136670 Priority date : 02.06.1995 Priority country : JP

54) MAGNETO-RESISTIVE FILM, ITS PRODUCTION AND MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT

57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To form a magneto-resistive film linearly varying the resistance before and behind a zero magnetic field and excellent in corrosion resistance.

SOLUTION: This magnetoresistive film consists of plural magnetic thin films 2, 3 laminated on a substrate 4 while interposing a nonmagnetic thin film 1 between the films 2, 3. An antiferromagnetic thin film 5 is previously disposed under the magnetic thin film 3. When the intensity of the bias magnetic field of the antiferromagnetic thin film 5 is represented by H_r and the coercive force of the magnetic thin film 2 is represented by H_{c2} , the inequality $H_{c2} < H_r$ is satisfied. At least a part of the antiferromagnetic thin film 5 has a two-layered structure formed by laminating CoO in 10-100 Å thickness on NiO or NiMn having an fct structure.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.12.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted to registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2778626

[Date of registration] 08.05.1998

NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any
 damages caused by the use of this translation.

This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

**** shows the word which can not be translated.

In the drawings, any words are not translated.

 LAIMS

Claim(s)]

Claim 1] The magnetoresistance-effect film characterized by a part of aforementioned antiferromagnetism thin film at least] being NiMn of fct structure in the magnetoresistance-effect film which is $H_{c2} < H_r$ when the antiferromagnetism thin film is prepared in the soft-magnetism thin film and while it consists of two or more magnetic thin films which carried out the laminating through the nonmagnetic thin film and each other is adjoined through a nonmagnetic thin film on a substrate sets coercive force of H_r and the soft-magnetism thin film of another side to H_{c2} or the bias magnetic field of this antiferromagnetism thin film.

Claim 2] On the substrate, consist of two or more magnetic thin films which carried out the laminating through the nonmagnetic thin film, and through the nonmagnetic thin film, while adjoins each other and the antiferromagnetism thin film is prepared at the soft-magnetism thin film. When coercive force of H_r and the soft-magnetism thin film of another side is set to H_{c2} for the bias magnetic field of this antiferromagnetism thin film, The magnetoresistance-effect film characterized by being the two-layer film with which the aforementioned antiferromagnetism thin film carried out the 40A laminating of the CoO from 10 on NiO in the magnetoresistance-effect film which is $H_{c2} < H_r$.

Claim 3] The magnetoresistance-effect film according to claim 1 with which Mn atom content of the aforementioned NiMn alloy is characterized by being 46 to 60% of within the limits.

Claim 4] The magnetoresistance-effect film according to claim 1 characterized by adding 1 - 10% of carbon (C) into the aforementioned NiMn alloy, and carrying out induction of the fct grid transformation.

Claim 5] The magnetoresistance-effect film according to claim 1 characterized by the aforementioned NiMn alloy being a three-phase-circuit alloy of nickel, Mn, and the selected corrosion resisting material.

Claim 6] The magnetoresistance-effect film according to claim 1 characterized by the aforementioned corrosion resisting material being chromium (Cr).

Claim 7] The magnetoresistance-effect film according to claim 1 characterized by inserting Ti, Hf, Zr, Y, Ta, Cr(s), or these alloys as a ground layer of Above NiMn.

Claim 8] The magnetoresistance-effect film according to claim 1 or 2 characterized by the thickness of the aforementioned nonmagnetic thin film being 20-35Å.

Claim 9] The magnetoresistance-effect film according to claim 1 with which the soft-magnetism thin film which adjoins the aforementioned antiferromagnetism thin film NiMn and this is characterized by being heat-treated in the temperature of 300 degrees C or less.

Claim 10] They are H_{c2} and an anisotropy field about the coercive force of H_r and the soft-magnetism thin film of another side in the bias magnetic field of the aforementioned antiferromagnetism thin film H_{k2} Magnetoresistance-effect film according to claim 1 or 2 characterized by being $H_{c2} < H_{k2} < H_r$ when it carries out.

Claim 11] The magnetoresistance-effect film according to claim 1 or 2 characterized by the kind of magnetic substance making a principal component nickel, Fe, Co, NiFe, NiFeCo(es), or these alloys.

Claim 12] The magnetoresistance-effect film according to claim 1 or 2 characterized by inserting Co, FeCo, NiCo, or -30Å of NiFeCo(es) in the interface of the aforementioned nonmagnetic thin film and a magnetic thin film.

Claim 13] The magnetoresistance-effect film according to claim 1 or 2 characterized by the direction of an easy axis of the magnetic thin film which adjoins each other through the aforementioned nonmagnetic thin film by rotating an impression magnetic field 90 degrees during membrane formation lying at right angles.

Claim 14] The magnetoresistance-effect film according to claim 1 or 2 characterized by for while not adjoining an antiferromagnetism thin film and forming the magnetic thin film into a single magnetic domain using an antiferromagnetism thin film or a permanent magnet thin film.

Claim 15] On a substrate, consist of two or more magnetic thin films which carried out the laminating through the nonmagnetic thin film, while adjoins each other through a nonmagnetic thin film, and the antiferromagnetism thin film

adjoined and prepared in the soft-magnetism thin film. It is the coercive force of H_r and the soft-magnetism thin film on another side about the bias magnetic field of this antiferromagnetism thin film H_{c2} . When it carries out, it sets on the magnetoresistance-effect film which is $H_{c2} < H_r$, and the aforementioned antiferromagnetic substance is $\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x}$ on nickel oxide film. Magnetoresistance-effect film characterized by being the two-layer film which carried out the laminating of the oxide film ($x=0-0.9$) from 1.

Claim 16] On a substrate, consist of two or more magnetic thin films which carried out the laminating through the nonmagnetic thin film, while adjoins each other through a nonmagnetic thin film, and the antiferromagnetism thin film adjoined and prepared in the soft-magnetism thin film. It is the coercive force of H_r and the soft-magnetism thin film on another side about the bias magnetic field of this antiferromagnetism thin film H_{c2} . When it carries out, it sets on the magnetoresistance-effect film which is $H_{c2} < H_r$, and the aforementioned antiferromagnetic substance is $\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x}$ on nickel oxide film. Magnetoresistance-effect film characterized by being the multilayer which was made to carry out composition change of the oxide film in $x=0$ to 0.9 , and carried out the 30A laminating from 1.

Claim 17] The magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by the thickness of nickel oxide film being 100 to 500Å.

Claim 18] The magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by the composition ratio of O in nickel in nickel oxide film being 0.5 to 1.5.

Claim 19] $\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x}$ in an oxide film ($x=0-0.9$) Magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by the composition ratio of receiving O being 0.5 to 2.5.

Claim 20] $\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x}$ Magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by the crystal structure of Co oxidation phase in an oxide film ($x=0-0.9$) making Spinel structure a principal component.

Claim 21] The magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by the surface roughness of an antiferromagnetism thin film being 2.0 to 30Å.

Claim 22] The magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by the kinds of nonmagnetic thin film being Au, Ag, Cu, Ru, Re, or these alloys.

Claim 23] On a substrate, consist of two or more magnetic thin films which carried out the laminating through the nonmagnetic thin film, while adjoins each other through a nonmagnetic thin film, and the antiferromagnetism thin film adjoined and prepared in the soft-magnetism thin film. It is the coercive force of H_r and the soft-magnetism thin film on another side about the bias magnetic field of this antiferromagnetism thin film H_{c2} . Magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by the thickness of the aforementioned non-magnetic layer being 20 to 35Å in the magnetoresistance-effect film which is $H_{c2} < H_r$ when it carries out.

Claim 24] On a substrate, consist of two or more magnetic thin films which carried out the laminating through the nonmagnetic thin film, while adjoins each other through a nonmagnetic thin film, and the antiferromagnetism thin film adjoined and prepared in the soft-magnetism thin film. It is the coercive force of H_r and the soft-magnetism thin film on another side about the bias magnetic field of this antiferromagnetism thin film H_{c2} . Magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by the thickness of the aforementioned non-magnetic layer being 8 to 12Å in the magnetoresistance-effect film which is $H_{c2} < H_r$ when it carries out.

Claim 25] They are H_{c2} and an anisotropy field about the coercive force of H_r and the soft-magnetism thin film of another side in the bias magnetic field of an antiferromagnetism thin film H_{k2} . Magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by being $H_{c2} < H_{k2} < H_r$ when it carries out.

Claim 26] The magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by the kind of magnetic substance making a principal component nickel, Fe, Co, FeCo, NiFe, NiFeCo(es), or these alloys.

Claim 27] The magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by the thickness of a magnetic thin film being 20 to 150Å.

Claim 28] The magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by inserting Co, FeCo, NiCo, or 1-30A of NiFeCo(es) in the interface of a nonmagnetic thin film and a magnetic thin film.

Claim 29] The magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by inserting Fe, nickel, Co(es), or 3-30Å of these alloys in the interface of an antiferromagnetism thin film and a magnetic thin film.

Claim 30] The manufacture method of the magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by forming the soft-magnetism thin film which adjoins an antiferromagnetism thin film and it as 300 degrees C from a room temperature in substrate temperature.

Claim 31] The manufacture method of the magnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 characterized by rotating an impression magnetic field 90 degrees during membrane formation so that the direction of an easy axis of the magnetic thin film which adjoins each other through a nonmagnetic thin film may intersect perpendicularly.

Claim 32] The magnetoresistance-effect film characterized by for while not adjoining an antiferromagnetism thin film and forming a magnetic thin film into a single magnetic domain using a permanent magnet thin film in the

agnetoresistance-effect film according to claim 15 or 16 with which it consists of two or more magnetic thin films which are laminated through the nonmagnetic thin film, while adjoins each other through a nonmagnetic thin film on a substrate, and the antiferromagnetism thin film is adjoined and prepared in the soft-magnetism thin film.

Claim 33] antiferromagnetism layer / ferromagnetic layer / non-magnetic layer/-- the magnetoresistance-effect element which consists of the 2nd ferromagnetic layer -- [of ** a 1st] It consists of the 2nd MR enhancing layer / the 1st ferromagnetic layer. or an antiferromagnetism layer / 1st ferromagnetic layer / MR enhancing layer / non-magnetic layer/-- [of ** a 1st] In the magnetoresistance-effect element whose Co oxide thickness an antiferromagnetism layer the two-layer film of nickel oxide / Co oxide, and nickel oxide thickness is 10nm or more, and is 0.3 to 3.0nm The magnetoresistance-effect element characterized by for nickel atomic number/in nickel oxide (nickel atomic number +O atomic number) being 0.3-0.7, and Co atomic number/in Co oxide (Co atomic number +O atomic number) being 0.3-0.7.

Claim 34] The magnetoresistance-effect element according to claim 33 characterized by Co oxide layer being Spinel structure.

Claim 35] The magnetoresistance-effect element according to claim 33 or 34 characterized by the surface roughness of nickel oxide / Co oxide two-layer film being 10nm or less.

Claim 36] The magnetoresistance-effect element of the claim 33-35 characterized by the material to which the 1st and 2nd ferromagnetic layers make NiFe or NiFeCo a principal component given in any 1 term.

Claim 37] The magnetoresistance-effect element of the claim 33-36 characterized by the material to which the 1st ferromagnetic layer makes Co a principal component, and the material to which the 2nd ferromagnetic layer makes NiFe or NiFeCo a principal component given in any 1 term.

Claim 38] The magnetoresistance-effect element of the claim 33-37 characterized by adding Pd, aluminum, Cu, Ta, Ti, B, Nb, Hf, Mo, W, Re, Ru, Rh, Ga, Zr, Ir, Au, and Ag to a non-magnetic layer given in any 1 term.

Claim 39] The magnetoresistance-effect element of the claim 33-38 characterized by using the material which consists of a group which becomes a non-magnetic layer from Cu, Ag, or Au given in any 1 term.

Claim 40] The magnetoresistance-effect element of the claim 33-38 characterized by using for a non-magnetic layer the material which makes a principal component the Ag addition Cu or Re addition Cu given in any 1 term.

Claim 41] The magnetoresistance-effect element of the claim 33-40 to which ferromagnetic layer thickness is characterized by 0.1-1 micrometer and non-magnetic layer thickness being [2-3nm and antiferromagnetism layer thickness] 10-70nm for 1-10nm and element height given in any 1 term.

Claim 42] The magnetoresistance-effect element of the claim 33-41 characterized by the angle which the direction of an easy axis of the magnetic thin film which adjoins each other through the aforementioned nonmagnetic thin film by applying an impression magnetic field during membrane formation makes being in the range of 70 to 90 degrees given in any 1 term.

Claim 43] The magnetoresistance-effect element of the claim 33-42 characterized by using the layer which has fcc structure in a ground layer in the magnetoresistance-effect element of the structure of a substrate / ground layer / ferromagnetic layer / non-magnetic layer / ferromagnetic layer / Co oxide / nickel oxide given in any 1 term.

Claim 44] The magnetoresistance-effect element of the claim 33-43 characterized by being formed with the material chosen from the group which becomes a ground layer from Ta, Ti, Zr, and Hf in the magnetoresistance-effect element of the structure of a substrate / ground layer / ferromagnetic layer / non-magnetic layer / ferromagnetic layer / Co oxide / nickel oxide given in any 1 term.

Claim 45] It is the shielded type magnetoresistance-effect sensor characterized by the laminating of a lower shield layer, a lower gap, and the magnetoresistance-effect element being carried out on the substrate, and the shield layer being patternized using the magnetoresistance-effect element of a claim 33-44 given in any 1 term, patternizing the magnetoresistance-effect element, carrying out the laminating of a vertical bias layer and the lower electrode layer one by one so that the edge may be touched, and carrying out the laminating of an upper gap layer and the upper shield layer one by one on it.

Claim 46] The magnetoresistance-effect element of a claim 33-44 given in any 1 term is used. on a substrate A lower shield layer, The laminating of a lower gap and the magnetoresistance-effect element is carried out, and the shield layer is patternized. A magnetoresistance-effect element is a shielded type magnetoresistance-effect sensor characterized by being patternized, carrying out the laminating of a vertical bias layer and the lower electrode layer one by one so that it may lap with the upper part in part, and carrying out the laminating of an upper gap layer and the upper shield layer one by one on it.

Claim 47] The magnetic-reluctance detection system characterized by having a magnetoresistance-effect sensor according to claim 45 or 46, the means which produces the current which passes along a magnetic-reluctance sensor,

d a means to detect resistivity change of the above-mentioned magnetic-reluctance sensor as a function of the magnetic field detected.

claim 48] The magnetic storage system characterized by the bird clapper from the actuator means combined with a magnetic-recording system and magnetic-reluctance conversion system in order to move a magnetic-recording system, magnetic-reluctance detection system according to claim 47, and the magnetic-recording system and magnetic-reluctance detection system for making data memorize on the magnetic storage medium which has two or more trucks for data logging, and a magnetic storage medium to the truck with which the aforementioned magnetic storage medium is chosen.

translation done.]

NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any images caused by the use of this translation.

This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

**** shows the word which can not be translated.

In the drawings, any words are not translated.

ETAILED DESCRIPTION

Detailed Description of the Invention]

0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to a magnetoresistance-effect film with large resistance rate of change by the small external magnetic field especially in a magnetic medium etc. about the magnetoresistance-effect film used for the magnetoresistance-effect element for reading magnetic field strength as a signal.

0002] Moreover, this invention relates to the magnetic sensor for reading the information signal recorded on the magnetic medium.

0003]

Description of the Prior Art] In recent years, high-sensitivity-izing of a magnetic sensor and densification in magnetic recording are advanced, and development of a magnetic-effect type magnetic sensor (henceforth MR sensor) and the magnetoresistance-effect type magnetic head (henceforth an MR head) is briskly furthered in connection with this. Although [which MR sensor and an MR head become from a magnetic material] it reads and an external-magnetic-field signal is read by resistance change of the sensor section, since relative velocity with a record medium is not dependent on a reproduction output, MR sensor and an MR head have the feature that a high output is obtained for high sensitivity also in high-density magnetic recording by the MR head, by MR sensor.

0004] It has at least the two-layer magnetic thin film by which the laminating was carried out through the nonmagnetic thin film recently. A coercive force is given by adjoining and preparing an antiferromagnetism thin film to one soft-magnetism thin film. There is a magnetoresistance-effect film which carries out resistance change by carrying out magnetization rotation by different external magnetic field from the soft-magnetism thin film of another side which adjoining through the nonmagnetic thin film (physical review B (Phys.Rev.B) the 43rd volume, the 1297th page, 1991, JP,4-358310,A).

0005] Moreover, in the Prior art, the magnetic reading converter called MR sensor or MR head is indicated, and it has made this clear that data can be read in a magnetic front face by big alignment density. MR sensor detects a magnetic field signal through the resistance change as the strength of magnetic flux, and a function of a direction sensed by the reading element. as for MR sensor of such a Prior art, one component of resistance of a reading element changes in proportion to the square of the cosine of the angle between the magnetization direction and the direction of sensing current which flows the inside of an element -- it operates based on the anisotropy magnetic-reluctance (AMR) effect paper "Memory, Storage, and Related Applications" whose more detailed explanation of the AMR effect is D.A. Thompson (Thompson) etc. IEEE Trans.on It is indicated by Mag.MAG-11 and p.1039 (1975).

0006] Furthermore, the more remarkable magnetoresistance effect returned to spin dependency dispersion by the layer interface to which resistance change of a laminating magnetic sensor accompanies spin dependency transmission of the conduction electron between the magnetic layers through a non-magnetic layer and it is indicated recently. This magnetoresistance effect is called by various names, such as the "huge magnetoresistance effect" and the "spin bulb effect." Sensitivity is improved and such a magnetic-reluctance sensor has a large resistance change rather than it is made of a suitable material and is observed by the sensor using the AMR effect. By this kind of MR sensor, the flat-surface internal resistance between the ferromagnetic layers of the couple separated by the non-magnetic layer changes in proportion to the cosine of the angle between the two magnetization directions of a layer.

0007] The laminating magnetism structure produced by the anti-parallel array of the magnetization in a magnetic layer of bringing about high MR change is indicated by JP,2-61572,A priority is claimed to be in June, 1986. As an usable material, ferromagnetic transition metals and a ferromagnetic alloy are mentioned in the above-mentioned specification by the laminated structure. Moreover, it is indicated that FeMn is suitable as the structure which added the antiferromagnetism layer to one side of the two-layer ferromagnetism [at least] layer separated by the interlayer, and

1 antiferromagnetism layer.

0008] To JP,4-358310,A by which the priority opinion is carried out on December 11, 1990 It has the two-layer thin film layer of the ferromagnetic divided by the thin film layer of a non-magnetic metal object. When an impression magnetic field is zero, the magnetization direction of two ferromagnetic thin membrane layers intersects perpendicularly, resistance between two uncombined ferromagnetic layers changes in proportion to the cosine of the angle between the two magnetization directions of a layer, and MR sensor independent of the direction of the current which flows the inside of a sensor is indicated.

0009] In Japanese Patent Application No. No. 214837 [six to] for which these people apply previously on September 1994 On a substrate, consist of two or more magnetic thin films which carried out the laminating through the non-magnetic layer, while adjoins each other through a nonmagnetic thin film, and the antiferromagnetism thin film is joined and prepared in the soft-magnetism thin film. It is the coercive force of H_r and the soft-magnetism thin film of other side about the bias magnetic field of this antiferromagnetism thin film H_{c2} In the magnetoresistance-effect film which is $H_{c2} < H_r$ when it carries out The magnetoresistance-effect element which is a superlattice which the forementioned antiferromagnetism layer becomes from at least two sorts chosen from NiO, Nix Co $_{1-x}$ O, and CoO is indicated.

0010]

Problem(s) to be Solved by the Invention] However, also in the magnetoresistance-effect element of the above-mentioned point **, although it operated in the small external magnetic field, when using it as a practical sensor and the magnetic head, the signal magnetic field needed to be impressed in the direction of an easy axis, and when using as a sensor, there was a problem that nonlinearity, such as that resistance change is not shown before and behind a zero magnetic field and a bulk HAUZEN jump, appeared.

0011] Moreover, the ferromagnetism-interaction was between the magnetic layers which adjoin each other through a non-magnetic layer, and there was a problem that the straight-line region in an M-R curve will shift from a zero magnetic field.

0012] Furthermore, a corrosion resistance bad material called FeMn needed to be used as an antiferromagnetism thin film, the additive was added on the occasion of utilization, or there was a problem which needs the measure of attaching a protective coat.

0013] Since it was the structure of obtaining resistance change fundamentally using change of the average free process length of the conduction electron in three layers of a magnetic thin film / nonmagnetic thin film / magnetic thin film, as compared with the magnetoresistance-effect film called distributor-shaft-coupling type which has multilayer structure, there was a problem that resistance rate of change was small.

0014] On the other hand, when corrosion resistance outstanding nickel oxide film was used as an antiferromagnetism thin film, the coercive force of the soft-magnetism film with which a bias magnetic field adjoins small became large, and there was a problem that the magnetization anti-parallel state between magnetic layers was difficult to get.

0015] The soft-magnetism film which adjoins when an oxide antiferromagnetism film is used as an antiferromagnetism thin film and it heat-treats oxidized, and there was a problem that the resistance rate of change of a bias magnetic field and also a magnetoresistance-effect film will fall.

0016] Although the big switched connection magnetic field was acquired when the superlattice of NiO and CoO was used as an antiferromagnetism thin film, there was a problem that the blocking temperature which is the upper limit temperature which operates as a magnetoresistance-effect film will fall. Moreover, there was a problem that a production cost was large.

0017] When the bilayer film which carried out the laminating of the 10 to 40Å CoO was used on NiO as an antiferromagnetism film, there was a problem that it was very difficult to obtain a CoO antiferromagnetism phase.

0018] Since it was the structure of obtaining resistance change fundamentally using change of the mean free path length of the conduction electron in a magnetic thin film / nonmagnetic thin film / three layers of magnetic thin films, as compared with the magnetoresistance-effect film called distributor-shaft-coupling type which has multilayer structure, there was a problem that resistance rate of change was small.

0019] The purpose of this invention shows a big resistance change linearly before and behind a zero magnetic field, and its hysteresis in an M-R curve is small, and is to offer the magnetoresistance-effect film which was moreover excellent in corrosion resistance and thermal resistance.

0020] Moreover, in the above-mentioned Prior art, or FeMn which is easy to oxidize in the atmosphere as an antiferromagnetism layer which constitutes spin bulb structure is mainly mentioned as a candidate and it adds an additive on the occasion of utilization, it is indispensable using a protective coat etc. And after using such a cure, in addition, there is property degradation at the time of process processing, and it was not able to be said that the reliability of a completion element was enough.

0021] When nickel oxide film or the CoPt film which increases one ferromagnetic layer reversal magnetic field and which was excellent in corrosion resistance as a means was used, the crystallinity of the magnetic layer / non-magnetic layer / magnetic layer sandwiches film which carries out a laminating on it was bad, and the problem that a hysteresis became easy to appear was on the R-H loop.

0022] when using the magnetoresistance-effect element using the simian-virus effect as a magnetoresistance-effect sensor, the thing in magnetic field zero which it point[of operation] (cross-point)-comes out, and is optimized is needed like the case of the magnetic-reluctance sensor using conventional AMR. Moreover, with the magnetoresistance-effect element using the simian-virus effect, an element configuration affects a head reproduction output. Furthermore, with simian-virus element which used the non-electrical conducting material for antiferromagnetism material, the thickness of antiferromagnetism material influences the gap length of a shielded type magnetic resistance element, and affects the off-track property of the regenerative signal by the shielded type magnetoresistance-effect head.

0023] this invention aims at offering a magnetoresistance-effect element with good corrosion resistance and a good switched connection magnetic field, a hysteresis characteristic, MR ratio, the cross point, and output signal half-value width, and a magnetic detection system.

0024]

Means for Solving the Problem] While this invention consists of two or more magnetic thin films which carried out the laminating through [in order to solve the above-mentioned problem] the nonmagnetic thin film on the substrate and each other is adjoined through a nonmagnetic thin film, the antiferromagnetism thin film is prepared in the soft-magnetism thin film, and it is the coercive force of H_r and the soft-magnetism thin film of another side about the bias magnetic field of this antiferromagnetism thin film H_{c2} . When it carries out, it is the magnetoresistance-effect film characterized by being the magnetoresistance-effect film which is $H_{c2} < H_r$.

0025] At least the part of the antiferromagnetism thin object used for the antiferromagnetism thin film of this invention is NiMn of fct structure. By making Mn atom content of the aforementioned NiMn alloy into 46 to 60% of within the limits, a grid transformation in the fct structure at the time of heat-treating is realized. As a ground layer of NiMn, hcp metals, such as Ti, Hf, Zr, and Y, are desirable. Furthermore, it is possible for the fct layer of NiMn to grow, to originate in the switched connection in an antiferromagnetism layer and a ferromagnetic layer interface, and to give the 1 direction anisotropy to a magnetic layer by heat-treating the soft-magnetism thin film which adjoins the antiferromagnetism thin film NiMn and this in the temperature of 300 degrees C or less. Moreover, it is possible by adding 1 - 10% of carbon (C) into a NiMn alloy to promote the fct grid transformation at the time of heat treatment. Furthermore, it is possible by adding 0 - 10% of chromium (Cr) into a NiMn alloy to raise corrosion resistance.

0026] Membrane formation is performed by methods, such as a vacuum deposition, the sputtering method, and a molecular beam epitaxy method (MBE). Moreover, as a substrate, glass, Si, MgO and aluminum $2O_3$, SiC, GaAs, a ferrite, CaTi $2O_3$, BaTi $2O_3$, Al_2O_3 -TiC, etc. can be used.

0027] The antiferromagnetism thin object used for the antiferromagnetism thin film of this invention has the two-layer membrane structure which specifically carried out the laminating of the 10-40Å CoO on NiO. After carrying out the laminating of the ferromagnetic and considering as a switched connection film on this two-layer film, a switched connection magnetic field goes up by giving heating among a magnetic field at about 200 degrees C.

0028] The upper limit of the thickness of NiO is 1000Å. On the other hand, although there is especially no minimum of the thickness of a NiO film, since the size of the switched connection magnetic field to the magnetic layer which the crystallinity of antiferromagnetism adjoins is influenced greatly, it is desirable to consider as 100Å or more from which crystallinity becomes good. Moreover, by forming substrate temperature as 100-300 degrees C, crystallinity is improved and a bias magnetic field goes up. Membrane formation is performed by methods, such as a vacuum deposition, the sputtering method, and a molecular beam epitaxy method (MBE). Moreover, as a substrate, glass, Si, AgO and aluminum $2O_3$, SiC, GaAs, a ferrite, CaTi $2O_3$, BaTi $2O_3$, Al_2O_3 -TiC, etc. can be used.

0029] Although especially the kind of magnetic substance used for the magnetic thin film of this invention is not restricted, specifically, Fe, nickel, Co, Mn, Cr, Dy, Er, Nd, Tb, Tm, germanium, Gd, etc. are desirable. Moreover, as the alloy containing these elements, or a compound, Fe-Si, Fe-nickel, Fe-Co, Fe-Gd, nickel-Fe-Co, nickel-Fe-Mo, Fe-aluminum-Si (Sendust), Fe-Y, Fe-Mn, Cr-Sb, Co system amorphous, Co-Pt, Fe-aluminum, Fe-C, a ferrite, etc. are desirable, for example.

0030] In this invention, it chooses from these magnetic substance and a magnetic thin film is formed. Anisotropy field H_{k2} of the magnetic thin film which does not adjoin an antiferromagnetism thin film especially Coercive force H_{c2} It is realizable by choosing a large material.

0031] Moreover, an anisotropy field is greatly made also by making thickness thin. For example, when NiFe is made into the thickness of about 10Å, it is an anisotropy field H_{k2} . Coercive force H_{c2} It can enlarge.

032] Furthermore, such a magnetoresistance-effect film can be manufactured by forming the aforementioned agnetic thin film all over a magnetic field so that it may have become perpendicularly to the direction of a signal agnetic field where the easy axis of a magnetic thin film is impressed and the coercive force of the direction of ipression signal time may be set to $H_c2 < H_k2 < H_r$. It realizes by rotating an impression magnetic field 90 degrees ring membrane formation, or rotating a substrate 90 degrees all over a magnetic field so that the direction of an easy is of the magnetic thin film which adjoins each other through the easy axis of a soft-magnetism film, this, and the nmagnetic thin film which specifically adjoin an antiferromagnetism thin film may intersect perpendicularly.

033] The thickness of each magnetic thin film has desirable 200Å or less. Although an effect does not decrease nsidering thickness as 200Å or more, without an effect increasing with the increase in thickness, there is much embranous production top futility and it is uneconomical. On the other hand, although there is especially no inimum of the thickness of a magnetic thin film, the effect of surface dispersion of conduction electron becomes rge, and 30Å or less of magnetic-reluctance change becomes small. Moreover, about thickness, in 30Å or more, then ickness, it becomes easy to keep it uniform and a property also becomes good. Moreover, the size of saturation agnetization does not become small too much.

034] Furthermore, it is possible by inserting Co or Co system alloy in the interface of a nonmagnetic thin film and a agnetic thin film for the interface dispersion probability of conduction electron to go up, and to obtain a bigger sistance change. The minimum of the thickness to insert is 5Å. Less than [this], while the insertion effect decreases, becomes difficult [a thickness control]. Although there is especially no upper limit of the thickness to insert, about 0A is desirable. If it carries out more than this, a hysteresis will appear in the output in the operating range of a agnetoresistance-effect element.

035] Furthermore, in such a magnetoresistance-effect film, by making an antiferromagnetism thin film or a ermanent magnet thin film adjoin in the easy magnetization direction of the magnetic layer which detects an external agnetic field, i.e., the magnetic layer which does not adjoin an antiferromagnetism layer, magnetic-domain abilization is attained and nonlinear outputs, such as a bulk HAUZEN jump, are avoided. As an antiferromagnetism in film used for magnetic-domain stabilization, FeMn, NiMn, NiO, CoO and Fe 2O₃, FeO, CrO, MnO, etc. are esirable. Moreover, as a permanent magnet thin film, CoCr, CoCrTa, CoCrTaPt, CoCrPt, CoNiPt, CoNiCr, CoCrPtSi, eCoCr, etc. are desirable. And Cr etc. may be used as a ground layer of these permanent magnet thin films.

036] What is necessary is for a nonmagnetic thin film to be a material which plays the role which weakens the agnetic interaction between magnetic thin films, and for there to be no limit in the kind and just to choose it as it om various metals or semimetal non-magnetic material suitably.

037] As the metal magnetic substance, these alloys, such as Au, Ag, Cu, Pt, aluminum, Mg, Mo, Zn, Nb, Ta, V, Hf, b, Zr, Ga, Ti, Sn, and Pb, are desirable. As a semimetal non-magnetic material, SiO₂, SiN, aluminum 2O₃, ZnO, lgO, TiN of what added another element to these, etc. are desirable.

038] The thickness of a nonmagnetic thin film has 20-35Å more desirable than an experimental result. If thickness enerally exceeds 40Å, resistance will be decided by the nonmagnetic thin film, and the scattering effect by spin will ecome small relatively, consequently magnetic-reluctance change will become small. On the other hand, if thickness ecomes 20Å or less, since the magnetic interaction between magnetic thin films will become large too much and enerating of a magnetic direct contact state (pinhole) will not be avoided, it is hard coming to generate the state where e magnetization direction of both magnetic thin films is different from each other.

039] The thickness of magnetism or a nonmagnetic thin film can be measured by the transmission electron icroscope, the scanning electron microscope, Auger electron spectral analysis, etc. Moreover, the crystal structure of thin film can be checked by the X diffraction, the high-speed electron diffraction, etc.

0040] What is necessary is just to choose especially a limit as the number of times N of a repeat laminating of an rtificial grid film suitably in the magnetoresistance-effect element of this invention according to the magnetic-eluctance rate of change which there is nothing and is made into the purpose.

0041] In addition, antioxidizing films, such as a silicon nitride, oxidization silicon, and oxidization aluminum, may be rpared in the front face of the magnetic thin film of the best layer, and the metal conductive layer for an electrode rlawer may be prepared in it.

0042] Moreover, since the magnetic properties of the magnetic thin film which exists in a magnetoresistance-effect element cannot be measured directly, it usually measures as follows. The magnetic thin film which should be measured s formed a nonmagnetic thin film and by turns until the sum total thickness of a magnetic thin film becomes about 00-1000Å, the sample for measurement is produced, and magnetic properties are measured about this. In this case, hickness of a magnetic thin film, thickness of a nonmagnetic thin film, and composition of a nonmagnetic thin film are ade the same as the thing in a magnetoresistance-effect element.

0043]

unction] It is indispensable that adjoin one soft-magnetism thin film, the antiferromagnetism thin film is formed by the magnetoresistance-effect film of this invention, and the exchange bias force is working. The reason is that the greatest resistance is shown when the sense of magnetization of the magnetic thin film which the principle of this invention adjoined turns to a retrose mutually.

0044] Drawing 3 is a B-H curve explaining the working principle of the magnetoresistance-effect film of this invention.

0045] That is, as this invention shows to drawing 3, the external magnetic field H is the anisotropy field H_{k2} of a magnetic thin film. When it is between the coercive forces H_r of one magnetic thin film (i.e., when it is $H_{k2} < H < H_r$), the direction of magnetization of the adjacent magnetic thin film becomes a retrose mutually, and resistance increases.

0046] Drawing 2 is an expansion perspective diagram explaining the outline composition of the magnetic-reluctance sensor which used the magnetoresistance-effect film of this invention.

0047] The magnetic-reluctance sensor of drawing 2 consists of an artificial grid film 7 formed on the substrate 4, takes the magnetic thin film 2 which minded the nonmagnetic thin film 1 on the antiferromagnetism thin film 5 formed on the substrate 4, and the magnetization easy direction between three intersect perpendicularly, and it is set up so that the signal magnetic field emitted from the magnetic-recording medium 8 may become perpendicular to the magnetization easy direction of a magnetic thin film 2.

0048] The 1 direction anisotropy is given by the antiferromagnetism thin film 5 which a magnetic thin film 3 adjoins at this time. And when the magnetization direction of a magnetic thin film 2 answers the size of the signal magnetic field of the magnetic-recording medium 8 and rotates, resistance changes and a magnetic field is detected.

0049] Here, the relation between an external magnetic field, coercive force, and the direction of magnetization is explained.

0050] They are H_{c2} and an anisotropy field about the coercive force of H_r and the soft-magnetism thin film of another side in the coercive force of the soft-magnetism thin film by which exchange bias was carried out as shown in drawing 3. It carries out ($0 < H_{k2} < H_r$). It is $H < -H_{k2}$ about the beginning and external magnetic field H . It impresses so that may become (field (A)). At this time, the magnetization direction of magnetic thin films 2 and 3 is turned to in the same direction of - (negative) as H . Next, if the external magnetic field is weakened, in $-H_{k2} < H < H_{k2}$ (field (B)), magnetization of a magnetic thin film 2 will rotate in the direction of +, and the magnetization direction of magnetic thin films 2 and 3 will become a retrose mutually in the field (C) of $H_{k2} < H < H_r$. Furthermore, in the field (D) of $H_r < H$ which enlarged the external magnetic field, magnetization of a magnetic thin film 3 is also reversed, and the magnetization direction of magnetic thin films 2 and 3 gathers, and is turned to in the direction of +.

0051] Drawing 4 is an R-H curve explaining the working principle of the magnetoresistance-effect film of this invention.

0052] Drawing 4 shows the membranous resistance R to a vertical axis, and shows magnetic-field-strength H to a horizontal axis. As shown in drawing 4, resistance of this film changes with the relative magnetization directions of magnetic thin films 2 and 3, and comes to take the greatest value (R_{max}) in a field (C).

0053] Moreover, the antiferromagnetism thin film is adjoined and prepared in the soft-magnetism thin film, and this invention is the coercive force of H_r and the soft-magnetism thin film of another side about the bias magnetic field of this antiferromagnetism thin film, while it consists of two or more magnetic thin films which carried out the laminating through the nonmagnetic thin film and each other is adjoined through a nonmagnetic thin film on a substrate H_{c2} . When it carries out, it is the magnetoresistance-effect film characterized by being $H_{c2} < H_r$.

0054] The antiferromagnetic substance used for the antiferromagnetism thin film of this invention has the two-layer membrane structure which carried out the 30A laminating of the 1-Nix Cox oxide film ($x=0-0.9$) from 1 on nickel oxide film. Or it is Nix Co $1-x$ on nickel oxide film. It has the multilayer structure which was made to carry out composition change of the oxide film in $x=0$ to 0.9 , and carried out the 30A laminating from 1.

0055] While corrosion resistance improves remarkably by this as compared with the FeMn antiferromagnetism material used conventionally, as compared with the case where nickel oxide-film monolayer is used, the coercive force of a switched connection film declines remarkably, and the hysteresis of the output of a magnetoresistance-effect element is improved remarkably.

0056] As for the thickness of nickel oxide film, considering as 1000Å or less is desirable. Although an effect does not decrease as thickness beyond this, it leads to precision falling from a viewpoint of the reading precision in a magnetoresistance-effect element, when thickness increases. On the other hand, since the minimum of the thickness of nickel oxide film influences greatly the size of the switched connection magnetic field to the magnetic layer which the crystallinity of an antiferromagnetism layer adjoins, it is desirable to consider as 100Å or more from which crystallinity becomes good. Moreover, by forming substrate temperature as 300 degrees C from a room temperature, crystallinity is improved and a bias magnetic field goes up. Membrane formation is performed by methods, such as a

vacuum deposition, the sputtering method, and a molecular beam epitaxy method (MBE). Moreover, as a substrate, Si, MgO and aluminum $2O_3$, GaAs, a ferrite, $CaTi\ 2O_3$, $BaTi\ 2O_3$, aluminum $2O_3$ -TiC, etc. can be used.

057] In this invention, by inserting 3 to 30Å nickel, Fe, Co(es), or these alloy layers between an antiferromagnetism thin film and a magnetic thin film, oxidization of a magnetic film is suppressed and the fall of the switched connection magnetic field when heat-treating and also decline in resistance rate of change are improved remarkably.

058] By making surface roughness of an antiferromagnetism thin film into 2 to 30Å, on it, the magnetic-domain structure of the magnetic layer which carries out a laminating changes, and the coercive force in a switched connection element declines in this invention.

059] nickel, Fe, Co, FeCo, NiFe, NiFeCo(es), or these alloys of the kind of magnetic substance used for the magnetic thin film of this invention are desirable. Thereby, the effect of dispersion of the conduction electron in a non-magnetic layer / magnetic layer interface shows up greatly, and a bigger resistance change is obtained.

060] The thickness of each magnetic thin film has desirable 150Å or less. If thickness is made into 150Å or more, the field which does not contribute to electronic dispersion with the increase in thickness will increase, and the huge magnetoresistance effect will become small. On the other hand, although there is especially no minimum of the thickness of a magnetic thin film, the effect of surface dispersion of conduction electron becomes large, and 20Å or less of magnetic-reluctance change becomes small. Moreover, about thickness, in 20Å or more, then thickness, it becomes easy to keep it uniform and a property also becomes good. Moreover, the size of saturation magnetization does not become small too much.

061] Moreover, the coercive force of the magnetic thin film which adjoins an antiferromagnetism thin film can make substrate temperature small by forming membranes continuously with an antiferromagnetism thin film as 300 degrees from a room temperature.

062] Furthermore, it is possible by inserting Co, FeCo, NiCo, or NiFeCo in a magnetic thin film / nonmagnetic thin film interface for the interface dispersion probability of conduction electron to go up, and to obtain a bigger resistance change. The minimum of the thickness to insert is 1Å. Less than [this], while the insertion effect decreases, it becomes difficult [a thickness control]. Although there is especially no upper limit of insertion thickness, about 30Å is desirable. If it carries out more than this, a hysteresis will appear in the output in the operating range of a magnetoresistance-effect element.

063] A nonmagnetic thin film is a material which plays the role which weakens the magnetic interaction between magnetic thin films, and in order to obtain a high magnetic-reluctance change and the outstanding thermal resistance, Cu, Au, Ag, Ru, Re, or these alloys are desirable.

064] Moreover, by the spin bulb film using the oxide antiferromagnetism thin film in this invention, since the interaction between magnetic layers changes to nonmagnetic thickness, two magnetic layers join together in antiferromagnetism near 12Å from the nonmagnetic thickness 8, and a high resistance change is obtained before and behind a zero magnetic field.

065] In the magnetoresistance-effect element of this invention, the resistivity of an antiferromagnetism thin film is large, and since the effect which carries out a laminating is spoiled, it is desirable to be transposed to the structure used as an antiferromagnetism layer / a magnetic layer / non-magnetic layer / magnetic layer / non-magnetic layer / magnetic layer / antiferromagnetism layer.

066] Then, the aforementioned The means for solving a technical problem of the magnetoresistance-effect element of this invention In the magnetoresistance-effect element which consists of the magnetoresistance-effect element which consists of the 2nd ferromagnetic layer or an antiferromagnetism layer / the 1st ferromagnetic layer / Co layer / non-magnetic layer / Co layer / the 2nd ferromagnetic layer antiferromagnetism layer / ferromagnetic layer / non-magnetic layer/-- [of ** a 1st] an antiferromagnetism layer -- from the two-layer film of nickel oxide / Co oxide -- becoming -- and nickel oxide thickness -- 10nm or more -- it is -- in addition -- and it is because Co oxide thickness sets to 0.3 to 0.7nm An antiferromagnetism layer is for MR ratio to increase at the same time the switched connection magnetic field by which the coercive force of the 1st magnetic layer which adjoins this by grant of Co oxide layer declines, and the thing with the nickel oxide / the Co oxide two-layer film more sufficient than nickel oxide monolayer is given to a fixed magnetic layer from an antiferromagnetism layer exceeds fixed magnetic layer coercive force and the hysteresis on the R-H curve of a magnetoresistance-effect element decreases. Under the present circumstances, it is desirable that nickel atomic number/in nickel oxide (nickel atomic number +O atomic number) is 0.3-0.7 and for Co atomic number/in Co oxide (Co atomic number +O atomic number) to be 0.3-0.7. This is because the range to which nickel oxide and Co oxide show antiferromagnetism, and can give an exchange anisotropy to the 1st magnetic layer is this range. Furthermore, it is desirable for Co oxide layer to be Spinel structure. This is based on the experimental result that the 1st magnetic layer was able to give the exchange anisotropy effectively from the antiferromagnetism layer, when Co oxide layer is Spinel structure. As for the surface roughness of nickel oxide / Co oxide two-layer film, it is

desirable that it is 10nm or less. Surface roughness of this is for the hysteresis of a magnetoresistance-effect element to increase by coercive force increase of the 1st ferromagnetic layer in 10nm or more. The 1st and the 2nd a little more than a magnetic layer have the material which makes NiFe or NiFeCo a principal component to a desirable bird clapper. Furthermore, the material to which the 1st ferromagnetic layer makes Co a principal component, and the material to which the 2nd ferromagnetic layer makes NiFe or NiFeCo a principal component can also be used. Corrosion resistance improves by adding Pd, aluminum, Cu, Ta, In, B, Nb, Hf, Mo, W, Re, Ru, Rh, Ga, Zr, Ir, Au, and Ag to a non-magnetic layer. It is desirable to use the material which becomes a non-magnetic layer from the group which consists of Cu, Ag, or Au. This is because high MR ratio is obtained, when Cu, Ag, or Au is used. Thermal resistance is improved by using for a non-magnetic layer the material which makes a principal component the Ag addition Cu or the addition Cu. This is for Ag or Re of not dissolving to Cu to gather for a grain boundary, and to prevent the grain boundary diffusion to Cu layer of a magnetic layer. As for ferromagnetic layer thickness, it is desirable for 1-10nm and element height to be [for 2-3nm and the antiferromagnetism layer thickness of 0.1-1 micrometer and non-magnetic layer thickness] 10-70nm. This is because the magnetostatic combination between the 1st and 2nd ferromagnetic layer can be weakened and the cross point position on an R-H curve can be improved by setting ferromagnetic layer thickness to 10nm or less. However, the case where the magnetization direction of the 1st and the 2nd a little more than a magnetic layer is parallel in 1nm or less -- anti- -- in order that the difference of the mean free path in the case, ****, may decrease, it becomes difficult to obtain sufficient MR ratio. It is desirable by rotating an impression magnetic field during membrane formation for the angle which the direction of an easy axis of the magnetic thin film which adjoins each other through the aforementioned nonmagnetic thin film makes to be in the range of 70 to 90 degrees. Since flux reversal becomes a magnetization rotation mode initiative type when magnetization of the 2nd magnetic layer has turned to the direction near a difficult shaft, this is because the coercive force of the 2nd ferromagnetic layer can be reduced and generating of the Barkhausen noise when considering as a head can be reduced.

0067]

[Embodiments of the Invention] First, the magnetoresistance-effect film of this invention is explained with reference to drawing.

0068] Drawing 1 is a cross section explaining the outline composition of the magnetic-reluctance sensor which used the magnetoresistance-effect film of this invention.

0069] As mentioned above, a magnetic-reluctance sensor consists of an artificial grid film 7 formed on the substrate 4, and the artificial grid film 7 has magnetic thin films 2 and 3 on the substrate 4 in which the antiferromagnetism thin film 5 was formed, and has the nonmagnetic thin film 1 among these adjoining magnetic thin films 2 and 3. Moreover, the laminating of an antiferromagnetism thin film or the permanent magnet thin film 6 is adjoined and carried out to the magnetic thin film 2.

0070] Detailed explanation is given by the term of an example.

0071] Next, all are performed by the term of an example about the material which showed detailed explanation by the claim by the concrete experimental result about the magnetoresistance-effect film and its manufacture method of this invention.

0072] Then, the magnetoresistance-effect element of this invention is explained with reference to a drawing.

0073] As a shielded type element which applied this invention, the thing of a form like drawing 25 and drawing 26 can be used.

0074] By the type of drawing 25, the laminating of the lower shield layer 12, the lower gap layer 13, and the magnetoresistance-effect element 16 is carried out on a substrate 11. The laminating of the gap convention insulating layer 17 may be carried out on it. The shield layer 12 is patternized in many cases by the suitable size according to PR process. The magnetoresistance-effect element 16 is patternized by the suitable size configuration according to PR process, and the laminating of the vertical bias layer 14 and the lower electrode layer 15 is carried out one by one so that the edge may be touched. The laminating of the upper gap layer 18 and the upper shield layer 19 is carried out one by one on it.

0075] By the type of drawing 26, the laminating of the lower shield layer 12, the lower gap layer 13, and the magnetoresistance-effect element 16 is carried out on a substrate 11. The lower shield layer 12 is patternized in many cases by the suitable size according to PR process. The magnetoresistance-effect element 16 is patternized by the suitable size configuration according to PR process, and the laminating of the vertical bias layer 14 and the lower electrode layer 15 is carried out one by one so that it may lap with the upper part in part. The laminating of the upper gap layer 18 and the upper shield layer 19 is carried out one by one on it.

0076] As a lower shield layer of the type of drawing 25 and drawing 26, NiFe, a CoZr system alloy, FeAlSi, nitriding iron system material, etc. can be used, and thickness can be applied in 0.5-10 micrometers. A lower gap can apply SiO₂, aluminum nitride, a silicon nitride, etc. besides an alumina. Use in 0.03-0.20-micrometer range is desirable. As

lower electrode, the simple substance, the alloy, or mixture which consists of Zr, Ta, and Mo is desirable. The thickness range has good 0.01-0.10 micrometers. As a vertical bias layer, CoCrPt, CoCr, CoPt, CoCrTa, FeMn, NiMn, nickel oxide, a NiCo oxide, etc. can be used. As a gap convention insulating layer, an alumina, SiO₂, aluminum nitride, a silicon nitride, etc. are applicable. Use in 0.005-0.05-micrometer range is desirable. An upper gap can apply alumina, SiO₂, aluminum nitride, a silicon nitride, etc. Use in 0.03-0.20-micrometer range is desirable.

0077] Drawing 27 and drawing 28 are the conceptual diagrams of the film composition of the magnetoresistance-effect element used for this invention. The example of drawing 27 is the structure which carried out the laminating of the nickel oxide layer 22, the Co oxide layer 23, the 1st a little more than magnetic layer 24, the 1st MR enhancing layer 25, a non-magnetic layer 26, the 2nd MR enhancing layer 27, the 2nd a little more than magnetic layer 28, and the protective layer 29 one by one on the ground layer 21. the example of drawing 28 It is the structure where the laminating of the 2nd a little more than magnetic layer 28, the 2nd MR enhancing layer 27, a non-magnetic layer 26, the 1st MR enhancing layer 25, the 1st a little more than magnetic layer 24, the Co oxide layer 23, the nickel oxide layer 22, and the protective layer 29 was carried out one by one on the ground layer 21.

0078] Under the present circumstances, as the 1st a little more than magnetic layer, NiFe, NiFeCo, CoZr system material, FeCoB, a Sendust, nitriding iron system material, FeCo, etc. can be used. About 1-10nm of thickness is desirable. Co, NiFeCo, FeCo, etc. can be used as a 1st MR enhancing layer. About 0.5-2nm of thickness is desirable. Although MR ratio falls a little compared with the case where it uses when not using the 1st MR enhancing layer, the number of stroke which production takes only a part not to use decreases. The material which added about [1-20at%] Ag to Cu and Cu as a non-magnetic layer, and the material which added about [1-20at%] Re to Cu can be used. 2-nm of thickness is desirable. Co, NiFeCo, FeCo, etc. can be used as a 2nd MR enhancing layer. About 0.5-2nm of thickness is desirable. Although MR ratio falls a little compared with the case where it uses when not using the 2nd MR enhancing layer, the number of stroke which production takes only a part not to use decreases. As the 2nd a little more than magnetic layer, NiFe, NiFeCo, CoZr system material, FeCoB, a Sendust, nitriding iron system material, FeCo, etc. can be used. About 1-10nm of thickness is desirable. In the case of the material to which the 1st or 2nd magnetic layer used NiFe or NiFeCo as the base, by making a ground layer into the material which has fcc structures, such as Ta, Hf, and Zr, the crystallinity of the 1st or the 2nd a little more than magnetic layer, and a non-magnetic layer can be made good, and MR ratio can be raised. As a protective layer, the oxide of a group which consists of aluminum, niobium, Ta, and Ti or a nitride, the groups which consist of Cu, Au, Ag, Ta, Hf, Zr, Ir, Si, Pt, Ti, Cr, aluminum, and C, or those mixture can be used. Although corrosion resistance improves by using, when not using, a manufacture number of stroke decreases conversely and productivity improves.

0079]

Example] First, two examples of the magnetoresistance-effect film of this invention are explained.

0080] (Example 1) In drawing 1, using a glass substrate 4 as a substrate, it puts in into vacuum devices and vacuum length is performed to a 10-7Torr base. Substrate temperature is maintained at a room temperature, and a ground layer is formed by 100A, a NiMn thin film is formed by the thickness of 200A, it continues, and NiFe is formed.

0081] As mentioned above, at a room temperature, to 270 degrees C, substrate temperature is raised and is held after forming a switched connection film for about 10 hours. Substrate temperature is again returned to a room temperature, non-magnetic layer and a magnetic layer are formed, and it considers as a magnetoresistance-effect film.

0082] Specifically, membrane formation arranges a NdFeB magnet by glass-substrate both side, and is 400 to a glass substrate and parallel. It carried out in the state where the external magnetic field about Oe is impressed. If the B-H curve of this sample is measured, the magnetic field impression direction will serve as an easy axis of an artificial grid NiFe layer during membrane formation.

0083] And the artificial grid film shown below formed membranes at about 2.2-3.5A [/second] membrane formation speed.

0084] In addition, when displayed, for example as Zr (100)/NiMn(200)/NiFe(60) / Cu(25) / NiFe (60), after carrying out the 200A laminating of 100A and the NiMn thin film for Zr thin film on a substrate, it means forming the alloy thin film of nickel80%-Fe20% of 60A **, Cu thin film of 25A **, and the thin film of nickel80%-Fe20% of 60A ** one by one.

0085] The oscillating sample type magnetometer performed measurement of magnetization. A resistance measurement is 2 1.0x10mm from a sample. It is -500-500, applying [produce the sample of a configuration, and] an external magnetic field so that it may become current and a perpendicular direction in a field. It measured by the ohmmeter 4 terminal method at the time of making it change to Oe, and magnetic-reluctance rate-of-change $\Delta R/R$ was calculated from the resistance. Resistance rate-of-change $\Delta R/R$ is Rmin about Rmax and a minimum-drag value in the maximum resistance. It carried out and calculated by the several 1 following formula.

0086]

$$\text{Equation 1]} \\ \frac{\Delta R}{R} = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\min}} \times 100 (\%)$$

he produced artificial grid is 1.glass/Ti(100)/NiMn(200)/NiFe(60) / Cu(25) / NiFe (60).

.glass/Hf(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

.glass/Zr(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

.glass/Y(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

.glass/Cr(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

.glass/Ta(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

.glass/Ti(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

.glass/ZrHf(100)/NiMn(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

.glass/Hf(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

0.glass/Zr(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

1.glass/Y(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

2.glass/Cr(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

3.glass/Ta(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

4.glass/ZrHf(100)/NiMnCr(200)/NiFe(60)/Cu(25)/NiFe(60)

comes out. Time required to obtain 2.8, 3.2, 3.0, 2.5, 2.4, and 2.6 or 3.3% of resistance change, and carry out a grid transformation to fct structure was 12, 8, 10, 15, and 16 or 14 hours to the heat treatment temperature of 270 degrees C, respectively by setting a ground layer to Ti, Hf, Zr, Y, Cr, Ta, and ZrHf. By adding C (carbon) 5% to NiMn, the time which a grid transformation takes decreased to the heat treatment temperature which is 270 degrees C in 2 - 6 hours. Moreover, by adding Cr to NiMn, corrosion resistance improved remarkably and the life was estimated at about 15 years at the room temperature. Furthermore, about 4.5% of resistance rate of change was obtained by inserting Co in a magnetic layer (NiFe) / non-magnetic layer (Cu) interface. The B-H curve and M-R curve of this artificial grid film No.1) become like drawing 5 and 6, respectively.

0087] It is the B-H curve of the magnetoresistance-effect film of this invention with which drawing 5 shows M/Ms (magnetization/saturation magnetization) to a vertical axis, and shows H (magnetic field strength) to a horizontal axis. This is the M-R curve of the magnetoresistance-effect film of this invention with which drawing 6 shows MR (resistance rate of change) to a vertical axis, and shows H (magnetic field strength) to a horizontal axis.

0088] By carrying out patterning of these artificial grid films to 1-3micrometerx2micrometer according to PR (photography) process, and forming a single magnetic domain by the CoPtCr film, the noise was small and drew linear H curve before and behind the zero magnetic field.

0089] (Example 2) Using a glass substrate 4 as a substrate, it puts in into vacuum devices and vacuum length is reformed to a 10-7Torr base. Substrate temperature is maintained at a room temperature, NiO is formed by 300A, a CoO thin film is formed by the thickness of 10-40A, and a magnetic layer, a non-magnetic layer, and a magnetic layer are formed continuously.

0090] Specifically, membrane formation arranges a NdFeB magnet by glass-substrate both side, and is 400 to a glass substrate and parallel. It carried out in the state where the external magnetic field about Oe is impressed. If the B-H curve of this sample is measured, the magnetic field impression direction will serve as an easy axis of an artificial grid NiFe layer during membrane formation.

0091] And the artificial grid film shown below formed membranes at about 2.2-3.5A [/second] membrane formation speed.

0092] In addition, when [for example,] displayed as NiO(300)/CoO(10) / NiFe(100)/Cu(25) / NiFe (100), After carrying out the 10A laminating of 300A and the CoO thin film for a NiO thin film and forming an antiferromagnetism layer on a substrate, It means forming 100A nickel80%-Fe20% of alloy thin film, Cu thin film of 25A **, and the thin film of nickel80%-Fe20% of 100A ** one by one.

0093] It carries out like an example 1 and measurement of magnetization is Rmin about Rmax and a minimum-drag value in rate of ohm-meter-izing deltaR/R, and the maximum resistance. It calculated by several 1 formula.

0094] The produced artificial grid is 1.glass/NiO(300)/CoO(10) / NiFe(100)/Cu(25) / NiFe (100).

.glass/NiO(300)/CoO(20)/NiFe(100)/Cu(25)/NiFe(100)

.glass/NiO(300)/CoO(40)/NiFe(100)/Cu(25)/NiFe(100)

.glass/NiO(300)/CoO(10)/NiFe(90)/Co(10)/Cu(25)/Co(10)/NiFe(100)

It comes out. By making nonmagnetic thickness into 25A, about 3.8% of resistance rate of change was obtained, and 1% of resistance rate of change was obtained by inserting Co in a magnetic layer (NiFe) non-magnetic layer (Cu)

interface. Moreover, the switched connection magnetic field of about 150 Oes was acquired by making CoO thickness to 20Å. The B-H curve and M-R curve of this artificial grid film (No.1) become like drawing 7 and 8, respectively. Moreover, by carrying out patterning of these artificial grid films to 1-2micrometerx2micrometer according to PR process, and forming a single magnetic domain by the CoPtCr film, the hysteresis was small and the R-H curve without Barkhausen noise was drawn.

0095] It is the B-H curve of the magnetoresistance-effect film of this invention with which drawing 7 shows M/Ms (magnetization/saturation magnetization) to a vertical axis, and shows H (magnetic field strength) to a horizontal axis. It is the M-R curve of the magnetoresistance-effect film of this invention with which drawing 8 shows MR (resistance rate of change) to a vertical axis, and shows H (magnetic field strength) to a horizontal axis.

0096] Next, the magnetoresistance-effect film of this invention and the example of the manufacture method are explained.

0097] It puts in into vacuum devices, using a glass substrate 4 as a substrate, and vacuum length is performed to a 10-Torr base. Substrate temperature is kept at room temperature -300 degree C, and a magnetic layer (NiFe, Co, FeCo, NiCo, NiFeCo) is continuously formed by the thickness of 1 to 40Å and formed [multilayer / NiCo oxidation / 100-100Å, Co oxide film, a NiCo oxide film, or] in nickel oxide film.

0098] Substrate temperature is returned to a room temperature after forming a switched connection film at room temperature -300 degree C as mentioned above, a non-magnetic layer and a magnetic layer are formed, and it considers as a magnetoresistance-effect film.

0099] And the artificial grid film shown below formed [film / oxide antiferromagnetism] membranes a second at about 2.2-3.5Å //second / membrane formation speed about 1.0-1.4Å /, the magnetic thin film, and the nonmagnetic thin film.

0100] In addition, for example, NiOx/(300) CoOy When displayed as (10) / NiFe(60) / Cu(25) / NiFe (60), It is NiOx on a substrate. They are 300Å and CoOy about a thin film. After carrying out the 10Å laminating of the thin film and forming an antiferromagnetism layer, It means forming 60Å nickel80%-Fe20% of alloy thin film, Cu thin film of 25Å *, and the nickel80%-Fe20% thin film of 60Å ** one by one.

0101] The produced spin bulb film is shown below.

0102] 1. Non-magnetic Layer Cu(a) NiOx/CoOy System Sample I.Glass/NiOx/(150-500) CoOy/(1-40) NiFe(20-50)/Cu(8-40)/NiFe (20-150)

a) NiOx/NiCoOy System sample i.glass/NiOx/(150-500) nickel0.1 Co0.9 Oy/(1-40) NiFe(20-150)/Cu(8-40)/NiFe 20-150)

i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.3 Co0.7 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)

ii.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)

iii.glass/NiOx (150~500)/Ni0.7 Co0.3 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)

iv.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)

b) NiOx/NiCoOy Multilayer system sample i.glass/NiOx/(150-500)nickel0.9 Co0.1 Oy (3) / nickel0.7 Co0.3 Oy (3) / nickel0.5 Co0.5 Oy (3) / nickel0.3 Co0.7 Oy (3)/NiFe(20-150)/Cu(8-40)/NiFe (20-150)

i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150

ii.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)

iii.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150

iv.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)

v.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150

.. Magnetic Pinning Layer Co(a) NiOx/CoOy System Sample I.Glass/NiOx/(150-500) CoOy/(1-40) Co(20-150)/Cu(8-40)/NiFe (20-150)

b) NiOx/NiCoOy System sample i.glass/NiOx/(150-500) nickel0.1 Co0.9 Oy/(1-40) Co(20-150)/Cu(8-40)/NiFe (20-50)

i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.3 Co0.7 Oy (1~40)/Co(20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)

ii.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (1~40)/Co(20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)

iii.glass/NiOx (150~500)/Ni0.7 Co0.3 Oy (1~40)/Co(20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)

iv.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (1~40)/Co(20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150

c) NiOx/NiCoOy Multilayer system sample i.glass/NiOx/(150-500)nickel0.9 Co0.1 Oy (3) / nickel0.7 Co0.3 Oy (3) /

ckel0.5 Co0.5 Oy (3) / nickel0.3 Co0.7 Oy (3)/Co(20-150)/Cu(8-40)/NiFe (20-150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/Co
 (20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/Co
 (20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/Co
 (20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/Co
 (20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/Co
 (20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)
 . Non-magnetic Layer Au(a) NiOx/CoOy System Sample I.Glass/NiOx/(150-500) CoOy/(1-40) NiFe(20-150)/Au(8-
 40)/NiFe (20-150)
 a) NiOx/NiCoOy System sample i.glass/NiOx/(150-500) nickel0.1 Co0.9 Oy/(1-40) NiFe(20-150)/Au(8-40)/NiFe
 (20-150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.3 Co0.7 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Au(8~40)/NiFe(20~150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Au(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.7 Co0.3 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Au(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Au(8~40)/NiFe(20~150)
 .) NiOx/NiCoOy Multilayer system sample i.glass/NiOx/(150-500)nickel0.9 Co0.1 Oy (3) / nickel0.7 Co0.3 Oy (3) /
 nickel<SUB>0.5 Co0.5 Oy (3) / nickel0.3 Co0.7 Oy (3)/NiFe(20-150)/Au(8-40)/NiFe (20-150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 (20~150)/Au(8~40)/NiFe(20~150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 (20~150)/Au(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 (20~150)/Au(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 (20~150)/Au(8~40)/NiFe(20~150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 (20~150)/Au(8~40)/NiFe(20~150)
 . Non-magnetic Layer Ag(a) NiOx/CoOy System Sample I.Glass/NiOx/(150-500) CoOy/(1-40) NiFe(20-150)/Ag(8-
 40)/NiFe (20-150)
 a) NiOx/NiCoOy System sample i.glass/NiOx/(150-500) nickel0.1 Co0.9 Oy/(1-40) NiFe(20-150)/Ag(8-40)/NiFe
 (20-150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.3 Co0.7 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Ag(8~40)/NiFe(20~150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Ag(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.7 Co0.3 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Ag(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Ag(8~40)/NiFe(20~150)
 .) NiOx/NiCoOy Multilayer system sample i.glass/NiOx/(150-500)nickel0.9 Co0.1 Oy (3) / nickel0.7 Co0.3 Oy (3) /
 nickel0.5 Co0.5 Oy (3) / nickel0.3 Co0.7 Oy (3) / NiFe (20-150) / Ag (8-40) / NiFe (20-150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 (20~150)/Ag(8~40)/NiFe(20~150)
 ii.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 (20~150)/Ag(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 (20~150)/Ag(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 (20~150)/Ag(8~40)/NiFe(20~150)
 .i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 (20~150)/Ag(8~40)/NiFe(20~150)
 i. Non-magnetic Layer Ru(a) NiOx/CoOy System Sample I.Glass/NiOx/(150-500) CoOy/(1-40) NiFe(20-150)/Ru(8-
 40)/NiFe (20-150)
 b) NiOx/NiCoOy System sample i.glass/NiOx/(150-500) nickel0.1 Co0.9 Oy/(1-40) NiFe(20-150)/Ru(8-40)/NiFe
 (20-150)

.glass/NiOx (150~500)/Ni0.3 Co0.7 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Ru(8~40)/NiFe(20~150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Ru(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.7 Co0.3 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Ru(8~40)/NiFe(20~150)
 glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Ru(8~40)/NiFe(20~150)
) NiOx/NiCoOy Multilayer system sample i.glass/NiOx/(150-500)nickel0.9 Co0.1 Oy (3) / nickel0.7 Co0.3 Oy (3) /
 ickel0.5 Co0.5 Oy (3) / nickel0.3 Co0.7 Oy (3) / NiFe (20-150) / Ru (8-40) / NiFe (20-150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 0~150)/Ru(8~40)/NiFe(20~150
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 0~150)/Ru(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 0~150)/Ru(8~40)/NiFe(20~150
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 0~150)/Ru(8~40)/NiFe(20~150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 0~150)/Ru(8~40)/NiFe(20~150
 . Non-magnetic Layer Re(a) NiOx/CoOy System Sample I.Glass/NiOx/(150-500) CoOy/(1-40) NiFe(20-150)/Re(8-
 0)/NiFe (20-150)
) NiOx/NiCoOy System sample i.glass/NiOx/(150-500) nickel0.1 Co0.9 Oy/(1-40) NiFe(20-150)/Re(8-40)/NiFe (20-
 50)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.3 Co0.7 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Re(8~40)/NiFe(20~150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Re(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.7 Co0.3 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Re(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Re(8~40)/NiFe(20~150)
) NiOx/NiCoOy Multilayer system sample i.glass/NiOx/(150-500)nickel0.9 Co0.1 Oy (3) / nickel0.7 Co0.3 Oy (3) /
 ickel0.5 Co0.5 Oy (3) / nickel0.3 Co0.7 Oy (3) / NiFe (20-150) / Re (8-40) / NiFe (20-150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 20~150)/Re(8~40)/NiFe(20~150
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 20~150)/Re(8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 20~150)/Re(8~40)/NiFe(20~150
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 20~150)/Re(8~40)/NiFe(20~150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 20~150)/Re(8~40)/NiFe(20~150
 . Non-magnetic Layer Cu1-X Agx(a) NiOx/CoOy System Sample I.Glass/NiOx/(150-500) CoOy/(1-40) NiFe(20-
 50)/Cu1-X Agx/(8-40) NiFe (20-150)
) NiOx/NiCoOy System sample i.glass/NiOx/(150-500) nickel0.1 Co0.9 Oy/(1-40) NiFe(20-150)/Cu1-x Agx/(8-40)
 NiFe (20-150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.3 Co0.7 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Cu1-x Agx (8~40)/NiFe(20~150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Cu1-x Agx (8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.7 Co0.3 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Cu1-x Agx (8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Cu1-x Agx (8~40)/NiFe(20~150)
 c) NiOx/NiCoOy Multilayer system sample i.glass/NiOx/(150-500)nickel0.9 Co0.1 Oy (3) / nickel0.7 Co0.3 Oy (3) /
 ickel0.5 Co0.5 Oy (3) / nickel0.3 Co0.7 Oy (3)/NiFe(20-150)/Cu1-x Agx/(8-40) NiFe (20-150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 20~150)/Cu1-x Agx (8~40)/NiFe(20~150)
 ii.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 20~150)/Cu1-x Agx (8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 20~150)/Cu1-x Agx (8~40)/NiFe(20~150)
 .glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe
 20~150)/Cu1-x Agx (8~40)/NiFe(20~150)
 i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe

0~150)/Cu1-x Agx (8~40)/NiFe(20~150)

Non-magnetic Layer Cu1-X Rex(a) NiOx/CoOy System Sample I. Glass/NiOx/(150-500) CoOy/(1-40) NiFe(20-0)/Cu1-X Rex/(8-40) NiFe (20-150)

) NiOx/NiCoOy System sample i. glass/NiOx/(150-500) nickel0.1 Co0.9 Oy/(1-40) NiFe(20-150)/Cu1-x Rex/(8-40) iFe (20-150)

glass/NiOx (150~500)/Ni0.3 Co0.7 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Cu1-x Rex (8~40)/NiFe(20~150)

.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Cu1-x Rex (8~40)/NiFe(20~150)

.glass/NiOx (150~500)/Ni0.7 Co0.3 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Cu1-x Rex (8~40)/NiFe(20~150)

glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Cu1-x Rex (8~40)/NiFe(20~150)

) NiOx/NiCoOy Multilayer system sample i. glass/NiOx/(150-500)nickel0.9 Co0.1 Oy (3) / nickel0.7 Co0.3 Oy (3) / ckel0.5 Co0.5 Oy (3) / nickel0.3 Co0.7 Oy (3)/NiFe(20-150)/Cu1-x Rex/(8-40) NiFe (20-150)

glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 0~150)/Cu1-x Rex (8~40)/NiFe(20~150)

.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 0~150)/Cu1-x Rex (8~40)/NiFe(20~150)

.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 0~150)/Cu1-x Rex (8~40)/NiFe(20~150)

glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 0~150)/Cu1-x Rex (8~40)/NiFe(20~150)

.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 0~150)/Cu1-x Rex (8~40)/NiFe(20~150)

Antioxidizing Thickness Dependence (Sample a) Glass/NiOx/(150-500) CoOy (10)/Fe(3-30)/NiFe(20-150)/Cu(8-0)/NiFe (20-150)

)glass/NiOx (150~500)/CoOy (10)/Ni(3~30)/NiFe(20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150

)glass/NiOx (150~500)/CoOy (10)/Co(3~30)/NiFe(20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150

)glass/NiOx (150~500)/CoOy (10)/FeCo(3~30)/NiFe(20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)

)glass/NiOx (150~500)/CoOy (10)/NiCo(3~30)/NiFe(20~150)/Cu(8~40)/NiFe(20~150)

). Magnetic Layer / Non-magnetic Layer Interface Co (Insertion a) NiOx/CoOy System Sample I. Glass/NiOx/(150-00) CoOy/(1-40) NiFe(20-150)/Co(1-30)/Cu(8-40)/Co(1-30)/NiFe (20-150)

) NiOx/NiCoOy System sample i. glass/NiOx/(150-500) nickel0.1 Co0.9 Oy/(1-40) NiFe(20-150)/Co(1-30)/Cu(8-0)/Co(1-30)/NiFe (20-150)

.glass/NiOx (150~500)/Ni0.3 Co0.7 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Co(1~30)/Cu(8~40)/Co(1~30)/NiFe(20~150)

i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Co(1~30)/Cu(8~40)/Co(1~30)/NiFe(20~150)

.glass/NiOx (150~500)/Ni0.7 Co0.3 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Co(1~30)/Cu(8~40)/Co(1~30)/NiFe(20~150)

.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (1~40)/NiFe(20~150)/Co(1~30)/Cu(8~40)/Co(1~30)/NiFe(20~150)

) NiOx/NiCoOy Multilayer system sample i. glass/NiOx/(150-500)nickel0.9 Co0.1 Oy (3) / nickel0.7 Co0.3 Oy (3) / ickel0.5 Co0.5 Oy (3) / nickel0.3 Co0.7 Oy (3)/NiFe(20-150)/Co(1-30)/Cu(8-40)/Co(1-30)/NiFe (20-150)

.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 20~150)/Co(1~30)/Cu(8~40)/Co(1~30)/NiFe(20~150)

i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 20~150)/Co(1~30)/Cu(8~40)/Co(1~30)/NiFe(20~150)

.glass/NiOx (150~500)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 20~150)/Co(1~30)/Cu(8~40)/Co(1~30)/NiFe(20~150)

.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.7 Co0.3 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 20~150)/Co(1~30)/Cu(8~40)/Co(1~30)/NiFe(20~150)

i.glass/NiOx (150~500)/Ni0.5 Co0.5 Oy (3)/Ni0.9 Co0.1 Oy (3)/Ni0.3 Co0.7 Oy (3)/Ni0.1 Co0.9 Oy (3)/NiFe 20~150)/Co(1~30)/Cu(8~40)/Co(1~30)/NiFe(20~150)

It comes out.

0103] The typical B-H curve and M-R curve of a spin bulb film of this invention become like drawing 9 and 10.

0104] Co oxidation thickness of resistance rate of change and NiCo oxidizing-zone thick dependence are shown in drawing 11. Drawing 12 is the NiCo oxidization multilayer thick dependency of resistance rate of change similarly.

Thus, resistance rate of change goes up gently by carrying out the 10A laminating of Co oxidation thin film, a NiCo oxidization thin film, and the NiCo oxidization multilayer of numbers from several angstroms on nickel oxide film.

0105] Drawing 13 shows Co oxidation thickness of the switched connection magnetic field of the switched connection layer at this time, and coercive force, and a NiCo oxidizing-zone thick dependency. Coercive force changes

lot to a switched connection magnetic field not changing from several angstroms so much in the range of 10A of imbers. Thus, in the M-R curve of a spin bulb film, a hysteresis is greatly improved by carrying out the laminating of oxidizing zone, a NiCo oxidizing zone, or the NiCo oxidation multilayer layer on nickel oxide film.

106] Drawing 14 shows nickel oxidizing-zone thick dependence of resistance rate of change and a switched connection magnetic field. Although resistance rate of change is hardly influenced by nickel oxidation thickness, it depends for a switched connection magnetic field to nickel oxidation thickness notably. That is, 100A or more of nickel oxidation thickness is needed.

107] The following table 1 shows the O/nickel ratio in nickel oxide film. By nickel oxide film of this invention, nickel/O ratios are 0.6-1.5 and the oxygen defect or the property equivalent also at hyperoxia is shown.

108]

Table 1]

O/Ni比

i	0. 6 2
ii	1. 2 0
iii	0. 7 7
iv	1. 4 1
v	0. 7 2

Moreover, drawing 15 shows the change of a switched connection magnetic field to a O/nickel ratio. Thus, when O/nickel ratios were 0.6-1.5, the switched connection magnetic field of 120 or more Oes was acquired.

109] The following table 2 shows the O/NiCo ratio in a NiCo oxide film in nickel oxidation / NiCo oxidation multilayer antiferromagnetism film. The amount of oxygen shows 0.5 or more values to NiCo.

110]

Table 2]

O/Ni Co比

i	1. 2
ii	2. 4
iii	2. 1
iv	0. 6
v	1. 6

The XPS result of Co oxide film at this time is shown in drawing 16 . Although a peak configuration changes with the elements (13 47 ref .N.S.McIntyre andM.G.Cook, Anal.Chem.Vol. No. 2208 (1975)), it makes a Co2p peak clear from drawing that Co oxidation phase of Spinel structure is the film contained. [many] As for such a Co oxidation phase of Spinel structure, room temperature membrane formation is also obtained easily. Moreover, drawing 17 shows the coercive force of a switched connection layer and the change of a switched connection magnetic field to an O/NiCo ratio. Thus, by making an O/NiCo ratio into the range of 0.5-2.5, it becomes switched connection magnetic field > coercive force, and a hysteresis is no longer looked at by the output of a magnetoresistance-effect element.

111] Drawing 18 shows the coercive force of a switched connection layer to the surface roughness of an antiferromagnetism layer. That it is related not only to surface composition of an antiferromagnetism layer but surface roughness makes the coercive force of a switched connection layer clear. This is because the magnetic-domain structure of the magnetic layer which turns a laminating up by surface roughness is influenced, at the time of the surface roughness which is 3-30A, coercive force serves as the minimum and MR property as a spin bulb film becomes good.

112] Drawing 19 shows heat treatment temperature dependence of the resistance rate of change when changing a non-magnetic material. Being maintained to higher temperature makes resistance rate of change clear by using a non-magnetic material as a CuAg alloy or a CuRe alloy. This is because alloying of nickel and Cu is suppressed when Ag or Re deposits in the grain boundary.

113] Drawing 20 shows non-magnetic layer thick dependence of resistance rate of change. By the spin bulb film of this invention, resistance rate of change has two peaks to nonmagnetic thickness in this way. This is for an antiferromagnetism-interaction to appear between magnetic layers. It was obtained by 20-30Å of nonmagnetic thickness, and 10% was obtained by 10Å 6.5% as resistance rate of change.

114] Drawing 21 shows magnetic layer thick dependence of resistance rate of change. It makes resistance rate of change clear that extremal value is shown in 40-70Å of magnetic thickness. Moreover, by using a ferromagnetic material of Co system, the electronic dispersion probability in a magnetic layer / non-magnetic layer interface went up, and higher resistance rate of change (10%) was obtained.

115] Drawing 22 shows thickness dependence of the resistance rate of change when inserting Co system alloy (Co, FeCo, NiCo, NiFeCo) in a magnetic layer / non-magnetic layer interface. An effect shows up by insertion of 1Å or more, and it becomes clear that the effect is saturated with 10Å or more. At this time, in 30Å or more of Co insertion, the coercive force of the magnetic layer which detects a magnetic field is set to about 10 Oes, and a hysteresis becomes easy to produce it in the MR property of a spin bulb film.

116] Drawing 23 shows heat treatment temperature dependence of the switched connection magnetic field when inserting Fe, nickel, Co(es), or these alloys in the interface of an antiferromagnetism thin film and a magnetic thin film. By inserting an antioxidizing film between an oxide antiferromagnetism thin film and a magnetic thin film, the switched connection magnetic field fall by magnetic layer oxidization was suppressed, and the switched connection magnetic field of about 150 Oes was maintained also to heat treatment which is 300 degrees C.

117] MR curve of an element when drawing 24 made the spin bulb film of this invention an element height of 1 micrometer and element width of face of 1.2 micrometers, and the CoCrPt permanent magnet film has been adjacently arranged as a magnetic-domain stabilization film is shown. From this, while magnetic-domain stabilization was attained by the permanent magnet thin film and nonlinear outputs, such as a bulk HAUZEN jump, were avoided, as compared with the usual anisotropy magnetoresistance effect, the about 6 to 10-time output was obtained.

118] Then, the example of the magnetoresistance-effect element of this invention is explained.

119] The quality of the material of the composition shown in introduction and the following table 3 and each class and the magnetoresistance-effect element of thickness were produced.

120]

Table 3]

	材 質	膜 厚 (nm)
Ni 酸化物層	Ni_xO_{1-x}	0~200
Co 酸化物層	Co_xO_{1-x}	1
第1強磁性層	NiFe	6
第1MRエンハンス層	Co	1
非 磁 性 層	Cu	2.5
第2MRエンハンス層	Co	1
第2強磁性層	NiFe	6

The relation between the element MR ratio at this time and nickel oxide thickness is shown in drawing 29. Although 10nm hardly changes with reduction of nickel oxide thickness, less than [it], MR ratio decreases, cuts 10nm, hits and comes out, and almost becomes zero. In order to use as a magnetoresistance-effect element, it becomes clear that it is required for nickel oxide thickness to be 10nm or more.

121] Next, the quality of the material of the composition shown in the following table 4 and each class and the

agnetoresistance-effect element of thickness were produced.

122]

Table 4]

	材 質	膜 厚 (nm)
Ni 酸化物層	$Ni_{1-x}O_{1-x}$	30
Co 酸化物層	Co_xO_{1-x}	0~5
第1強磁性層	Co	40
非 磁 性 層	Cu	26
第2強磁性層	NiFe	60

element coercive force H_c at this time And the relation between the switched connection magnetic field H_{ex} and Co oxide thickness is shown in drawing 30 . It is H_c although H_c and H_{ex} decrease with the increase in Co oxide-layer thickness. Since the methods of the reduction differ by H_{ex} , it is $H_{ex} > H_c$. The becoming range is 0.3-3nm. It sets for the magnetoresistance-effect element of this type, and is $H_{ex} > H_c$. Since the bird clapper is desirable, it is necessary to set Co oxide-layer thickness to 0.3-3.0nm.

123] Next, the quality of the material of the composition shown in the following table 5 and each class and the magnetoresistance-effect element of thickness were produced.

124]

Table 5]

	材 質	膜 厚 (nm)
Ni 酸化物層	NiO	30
Co 酸化物層	CoO	1.0
第1強磁性層	FeCo	4.0
非 磁 性 層	Cu	2.3
第2強磁性層	NiFeCo	6.0

drawing 31 is the relation between nickel atomic number/in nickel oxide layer in this element (nickel atomic number + O atomic number), and the switched connection magnetic field H_{ex} , and drawing 32 is the relation between Co atomic number/in Co oxide layer (Co atomic number + O atomic number), and the switched connection magnetic field H_{ex} . It turns out that it is required for H_{ex} to show a positive value in 0.3-0.7, and to be in this range in the case of both nickel oxide layer and Co oxide layer. Although the peak was taken in the 0.4 neighborhoods about Co oxide layer, when the membrane structure at this time was investigated by X-ray photoelectron spectroscopy, it is Co₃O₄. It became clear that a spinel is a principal component.

125] Next, the quality of the material of the composition shown in Table 5 and each class and the magnetoresistance-effect element of thickness are produced, and it is the surface roughness and coercive force H_c immediately after nickel oxide / Co oxide membrane formation. And the relation with the switched connection magnetic field H_{ex} was investigated (drawing 33). It follows on increase of surface roughness and is H_c . Increasing, H_{ex} decreases. $H_{ex} > H_c$ is desirable as a magnetoresistance-effect element That surface roughness is 10nm or less makes clear the range to fulfill.

126] Next, the magnetoresistance-effect element was made as an experiment using various material in the 1st and 2nd ferromagnetic layers with composition called an alumina ground layer / nickel oxide (30nm) / Co oxide (0.9nm) / the 1st ferromagnetic layer (4nm) / Cu layer (2.5nm) / the 2nd ferromagnetic layer (6nm) / Ta protective layer (1.5nm). MR ratio of each element is shown in the following table 6.

127]

Table 6]

第1の強磁性層	第2の強磁性層	MR比 (%)
NiFe	NiFe	6
NiFeCo	NiFe	7
Co	NiFe	8
FeCo	NiFe	8
NiFe	NiFeCo	8
NiFeCo	NiFeCo	10
Co	NiFeCo	11
FeCo	NiFeCo	11
NiFe	FeCo	8
NiFeCo	FeCo	9
Co	FeCo	12
FeCo	FeCo	13

Next, various elements were converted into Cu used as a non-magnetic layer, and the corrosion potential was measured. A result is shown in the following table 7. The value of a corrosion potential is improved by any addition of an element.

128]

Table 7]

u 膜への添加物	腐食電位 (mV)
なし	-310
Pd	-410
Al	-320
Pt	-510
Ta	-420
In	-340
B	-330
Nb	-350
Hf	-450
Mo	-370
W	-380
Re	-470
Rn	-440
Rh	-400
Ga	-330
Zr	-410
Ir	-430
Ah	-500
As	-420

ext, the magnetoresistance-effect element was produced with the composition of the following table 8, various Ag additions to Cu were boiled and changed, and it asked for the heat treatment temperature T which fell to 50% before IR ratio heat-treating with heat treatment of 1 hour

0129]

[table 8]

	材 質	膜 厚 (nm)
Ni酸化物層	NiO	25
Co酸化物層	CoO	0.7
第1強磁性層	NiFe	3.0
第1MRエンハンス層	FeCo	1.0
非 磁 性 層	Ag 又はRe添加 Cu	3.0
第2MRエンハンス層	FeCo	1.0
第2強磁性層	NiFe	5.0

As shown in the following table 9, T increased in monotone with increase of Ag addition.

0130]

Table 9]

u層へのAg添加量 (at%)	1時間の熱処理により MR比が50%に低下 する熱処理温度(℃)
0	220
2	230
3	240
5	250
7	260
10	270
15	275
20	275
30	280
40	280
50	280

Next, the magnetoresistance-effect element was produced with the composition of Table 8, various Re additions to Cu were boiled and changed, and it asked for the heat treatment temperature T which fell to 50% before MR ratio heat-eating with heat treatment of 1 hour

[131] As shown in the following table 10, T increased in monotone with increase of Re addition.

[132]

Table 10]

u層へのRe添加量 (at%)	1時間の熱処理により MR比が50%に低下 する熱処理温度(℃)
0	220
2	225
3	235
5	250
7	260
10	270
15	270
20	275
30	280
40	280
50	280

Next, the angle theta which the easy shaft of the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer makes and coercive force Hc of the 2nd ferromagnetic layer The relation was investigated (drawing 34). Film composition used what was shown in the following table 11.

[133]

Table 11]

	材 質	膜 厚 (nm)
Ni酸化物層	$Ni_x O_{1-x}$	30
Co酸化物層	$Co_x O_{1-x}$	1.0
第1強磁性層	NiFe	3.0
1MRエンハンス層	Co	0.7
非磁性層	Cu	25
2MRエンハンス層	Co	0.7
第2強磁性層	NiFe	6.0
保護層	Cu	1.5

follows on increase of theta and is Hc. It decreased in monotone and was set to 1 or less Oe in 70 to 90 degrees. When this range reduces the hysteresis of an element and reduces the Barkhausen noise of a head, it becomes clear that is a more desirable range.

134] Next, the head was made as an experiment using drawing 26 and composition as shown in Table 12, the quality of the material, and thickness.

135]

[Table 12]

	材 質	膜 厚 (nm)
下シールド層	NiFe	2
下ギャップ層	アルミナ	0.07~0.15
下電極層	Mo	0.05
下バイアス層	CoCrPt	0.025
空気抵抗効果素子	図25及び表4参照	
ギャップ規定絶縁層	アルミナ	0.01
上ギャップ層	アルミナ	0.07~0.15
上シールド層	NiFe	2

Under the present circumstances, the magnetoresistance-effect element of composition of being shown in the following Table 13 was used.

136]

Table 13]

	材 質	膜 厚 (nm)
Ni 酸化物層	$Ni_x O_{1-x}$	25
Co 酸化物層	$Co_x O_{1-x}$	1
第1強磁性層	NiFe	1~20
1MRエンハンス層	Co	1
非 磁 性 層	Cu	1~4
2MRエンハンス層	Co	1
第2強磁性層	NiFe	2~20
保 護 層	Cu	1.5

relation with the 1st a little more than magnetic layer thickness, the upper gap layer, and lower gap layer thickness from which the cross point is set to 0.5 to the relation of the cross point and the 1st a little more than magnetic layer thickness at the time of changing an upper gap layer and lower gap layer thickness into [drawing 35](#) and [drawing 36](#) is shown. Under the present circumstances, the thickness of an upper gap layer and a lower gap layer is set up so that it may become equal. The 2nd magnetic layer thickness is fixed to 6nm. The definition of the cross point is shown in [drawing 37](#). The cross points decreased in number with the increase in the 1st magnetic layer thickness. Moreover, though the thickness of the 1st magnetic layer which gives the cross point 0.5 decreases linearly with the increase in an upper gap layer and lower gap layer thickness, it is all 10nm or less in this gap range.

[137] A relation with the 1st a little more than magnetic layer thickness, the upper gap layer, and lower gap layer thickness from which the cross point is set to 0.5 to the relation of the cross point and the 2nd a little more than magnetic layer thickness at the time of changing an upper gap layer and lower gap layer thickness into [drawing 38](#) and [drawing 39](#) is shown. Under the present circumstances, the thickness of an upper gap layer and a lower gap layer is set up so that it may become equal. The 1st magnetic layer thickness is 6nm. The definition of the cross point is shown in [drawing 37](#). The cross points decreased in number with the increase in the 2nd magnetic layer thickness. Moreover, though the thickness of the 2nd magnetic layer which gives the cross point 0.5 decreases linearly with the increase in an upper gap layer and lower gap layer thickness, it is all 10nm or less in this gap range.

[138] The following table 14 is the output signal half-value width at the time of changing the 1st antiferromagnetism layer thickness by 5-100nm.

[139]

[table 14]

反強磁性層膜厚 (nm)	出力信号半値幅 (ns)
5	12
10	15
20	20
30	25
50	30
100	50

he linear velocity of the medium at the time of record reproduction is 10 m/s. 2Gb/inch² Although output signal half-value width needed to be 25 or less ns for the high recording density realization beyond a grade, as for this condition, ie 1st antiferromagnetism layer thickness was realized by 30nm or less.

0140] Drawing 40 is the relation between element height and output voltage. 2×10^7 A/cm² and the width of recording track set sense current to 1 micrometer. Output voltage will become large if element height becomes small. Although about [400micro] V are generally needed as output voltage, that it is 1 micrometer or less makes clear the range of element height with which this condition is filled.

0141]

Effect of the Invention] According to this invention, resistance change can be linearly carried out before and behind a zero magnetic field, and the spin bulb multilayer which was moreover excellent in corrosion resistance can be obtained so that clearly from the above explanation. At this time, the coercive force of a switched connection layer is also small, and the hysteresis when considering as a magnetoresistance-effect element is also mitigated remarkably. Moreover, thermal resistance is also improved remarkably and property change is no longer seen hardly also to 300-degree C heat treatment.

0142] Moreover, according to this invention, a magnetoresistance-effect element with good corrosion resistance and a good switched connection magnetic field, a hysteresis characteristic, MR ratio, the cross point, and output signal half-value width, a shielded type magnetoresistance-effect sensor, a magnetic-reluctance detection system, and a magnetic storage system can be obtained.

Translation done.]

NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

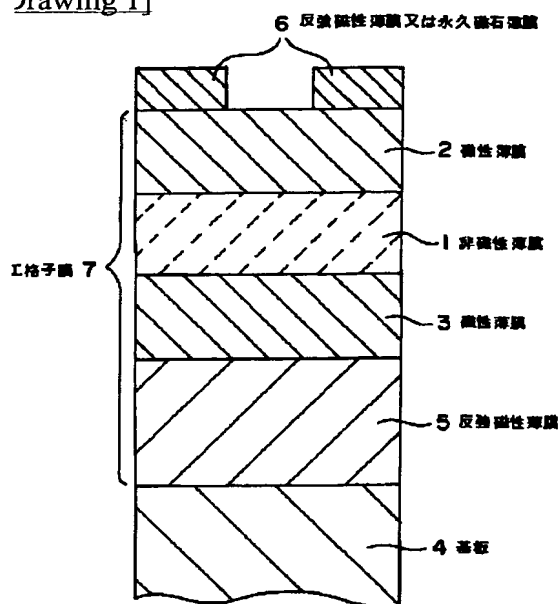
This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

**** shows the word which can not be translated.

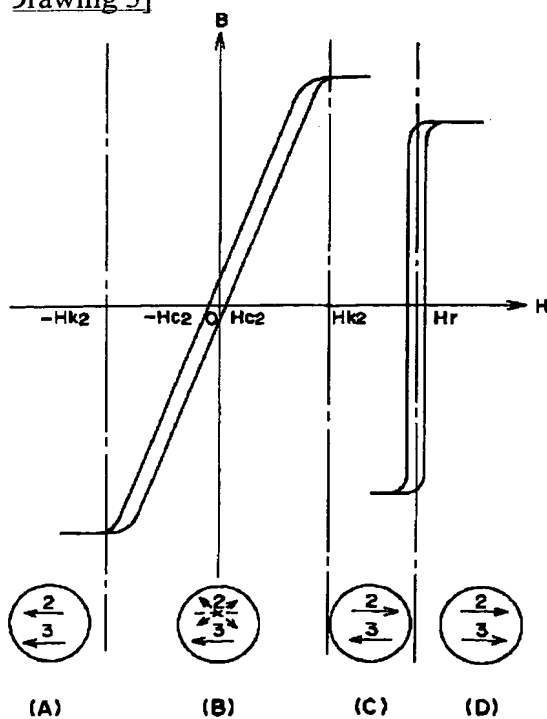
In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

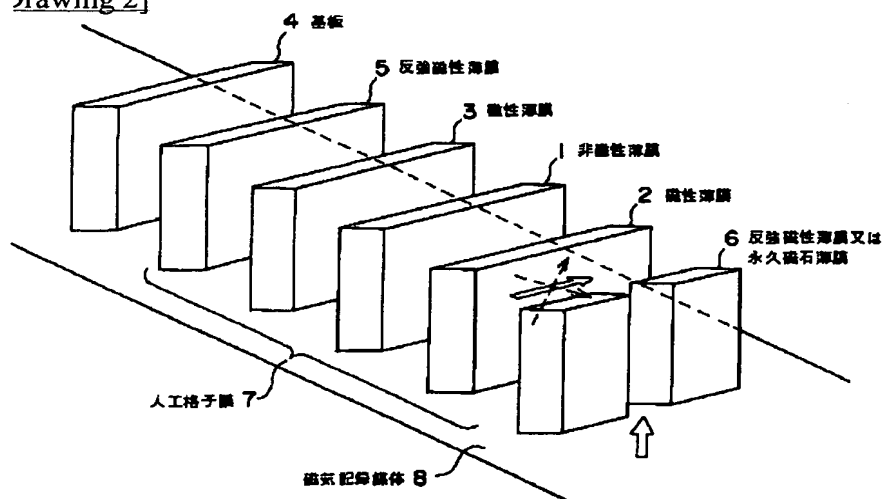
Drawing 1]



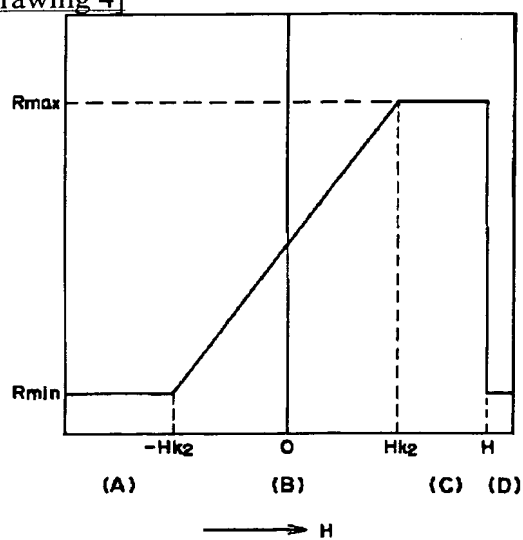
Drawing 3]



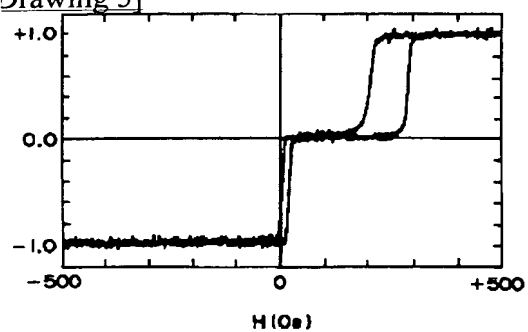
Drawing 2]



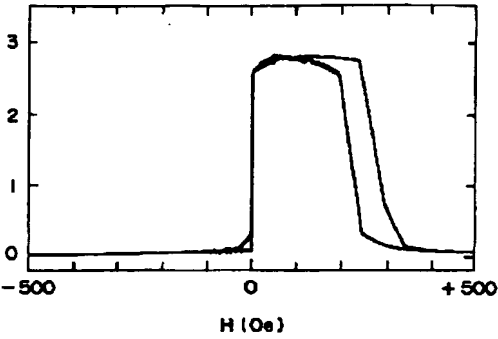
Drawing 4]



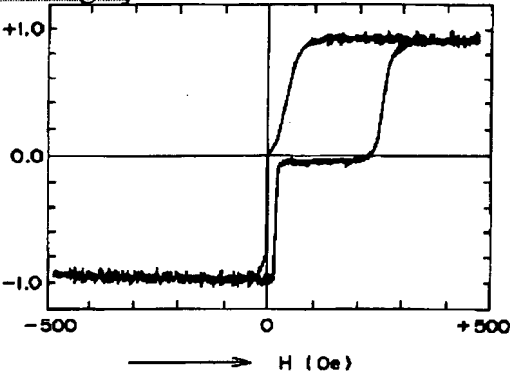
Drawing 5]



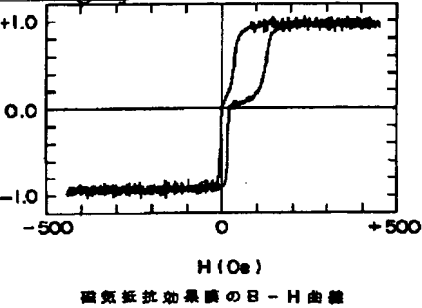
Drawing 6]



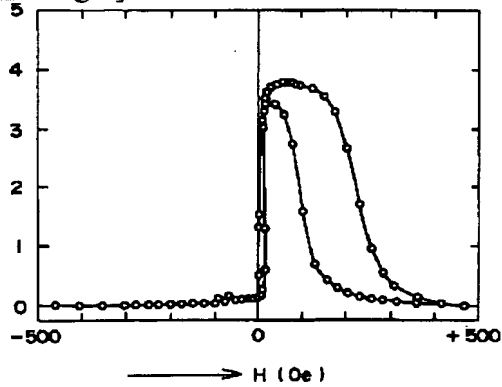
Drawing 7]



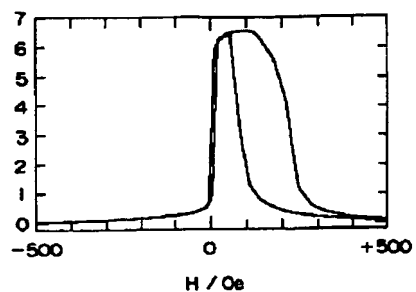
Drawing 9]



Drawing 8]

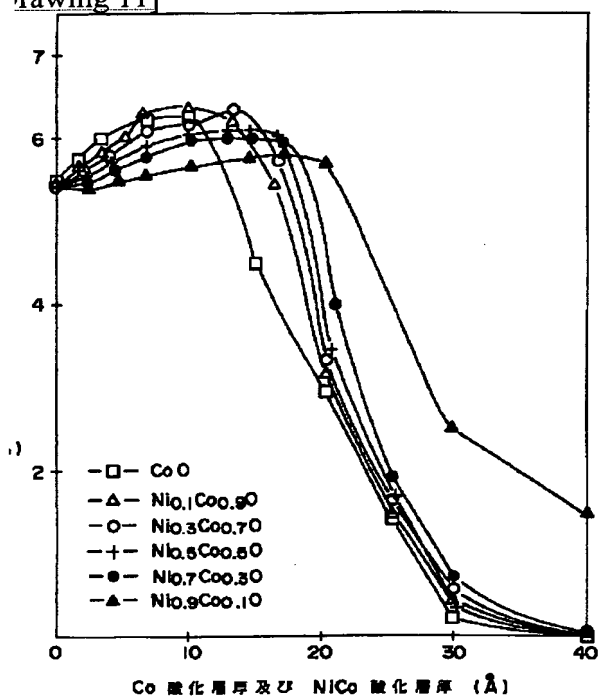


Drawing 10]



磁気抵抗効果膜の M - R 曲線

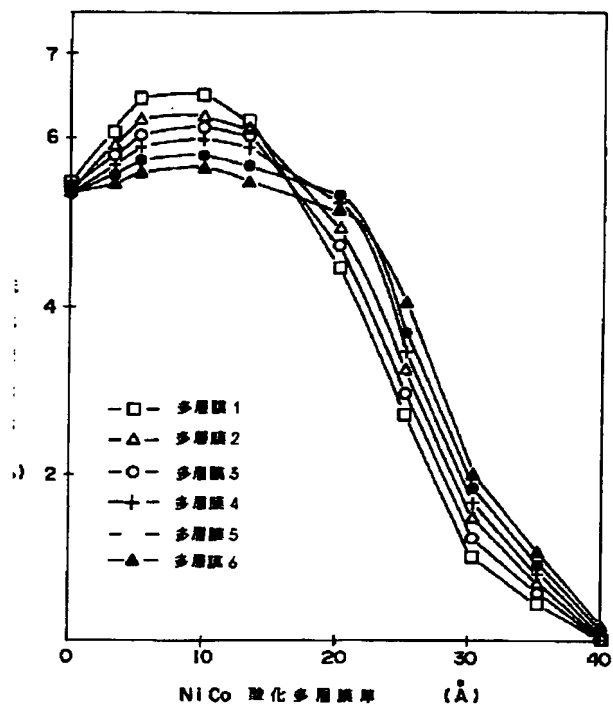
Figure 11]



抵抗変化率の Co 酸化層厚及び

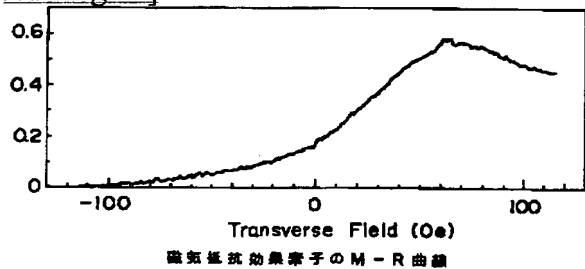
NiCo 酸化層厚依存

Figure 12]

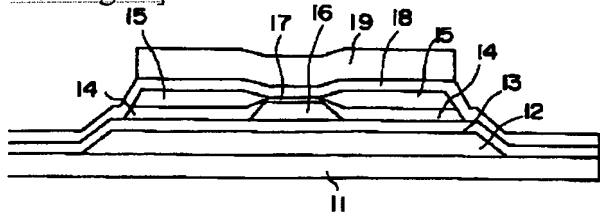


低抗変化率の NiCo 合金多層膜厚依存

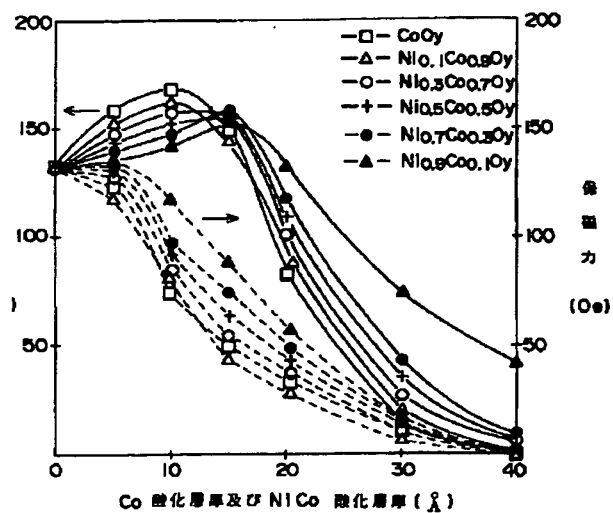
Drawing 24]



Drawing 25]

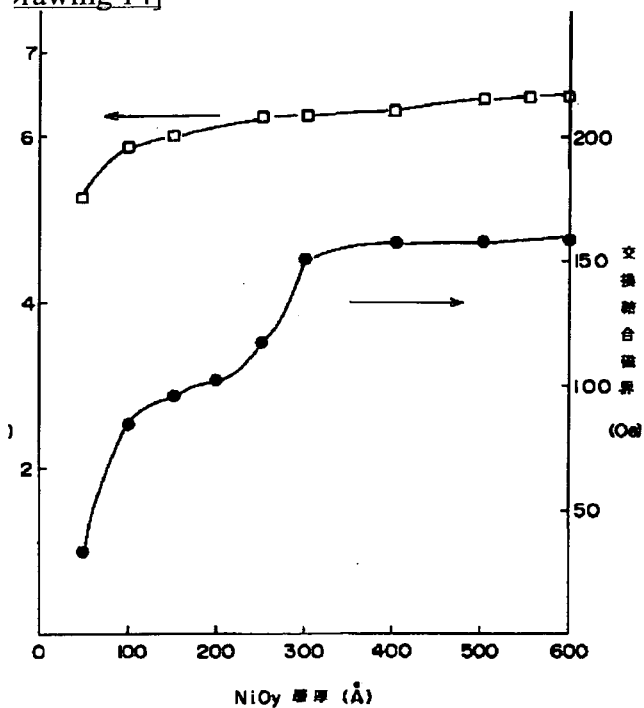


Drawing 13]



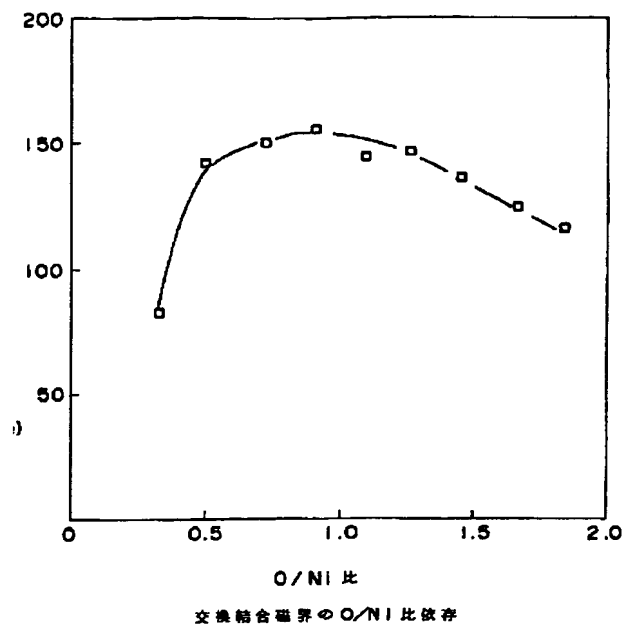
交換結合層の交換結合磁界及び保磁力の
Co 酸化層厚及び NiCo 酸化層厚依存

Drawing 14]

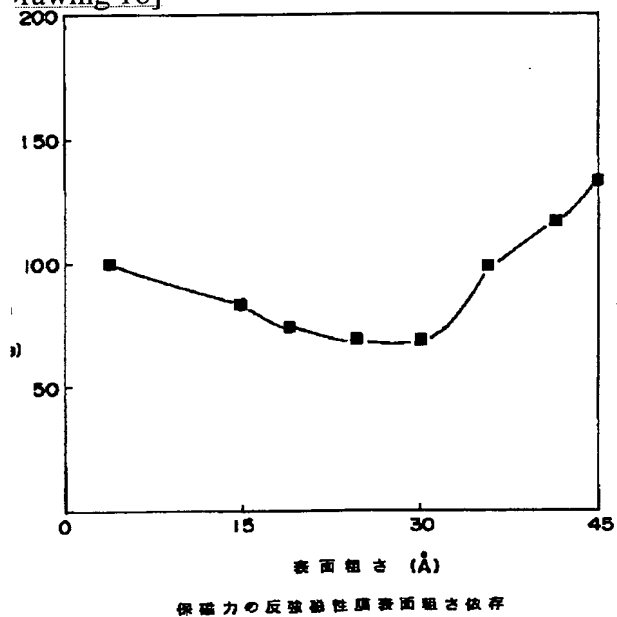


抵抗変化率及び交換結合磁界の
NiOy 層厚依存

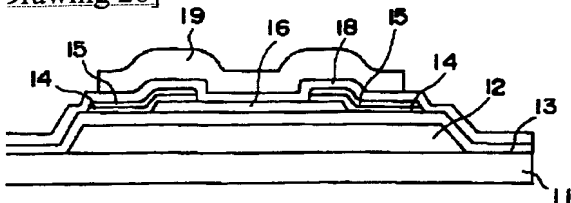
Drawing 15]



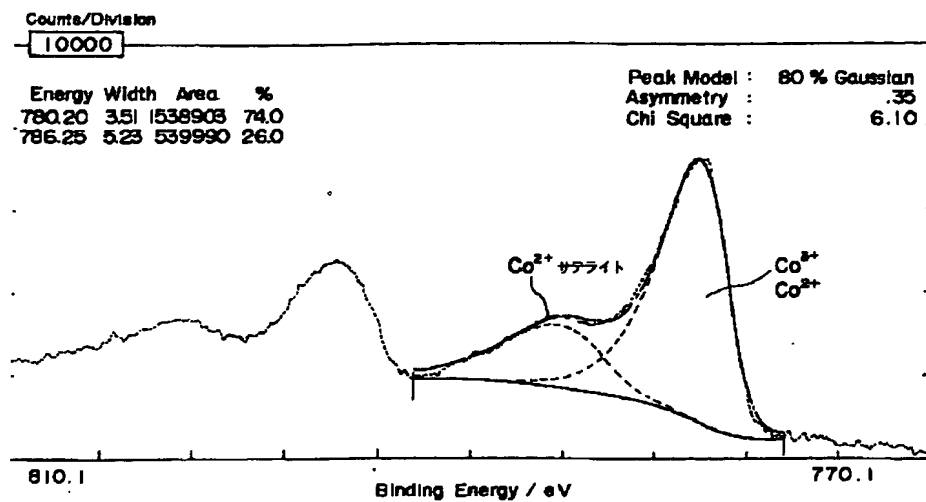
Drawing 18]



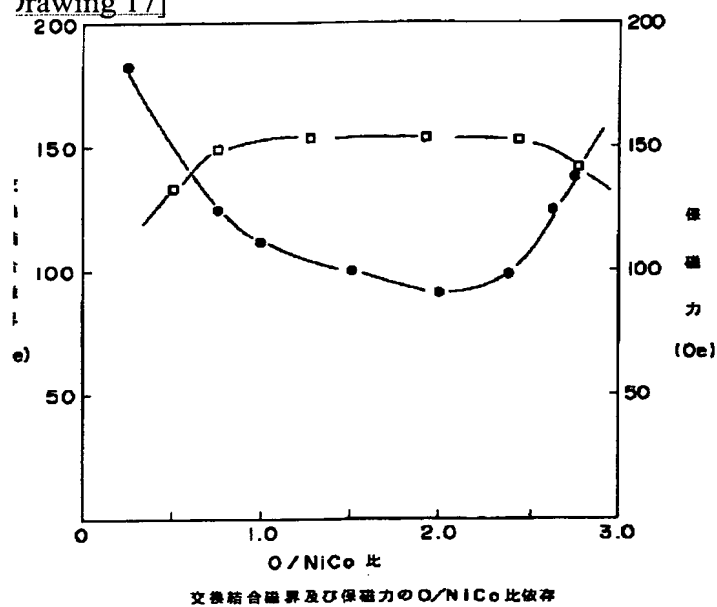
Drawing 26]



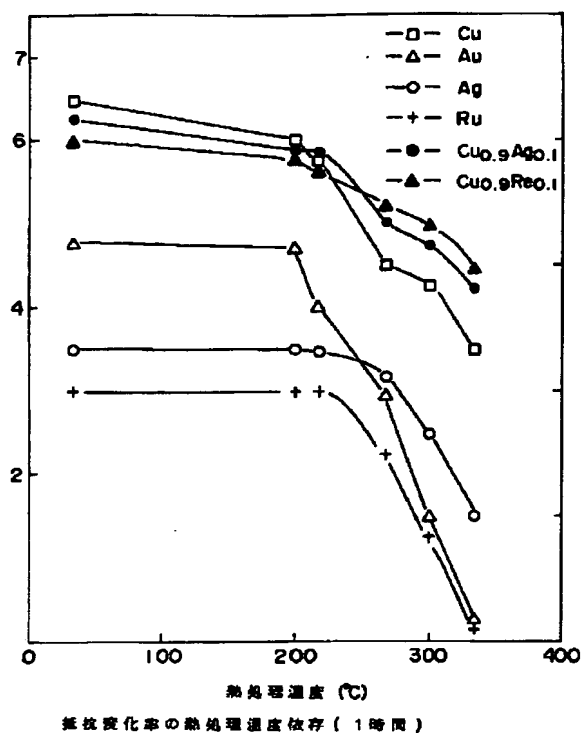
Drawing 16]



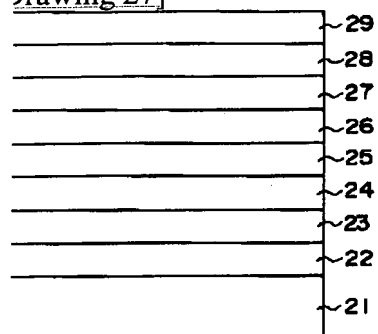
Drawing 17]



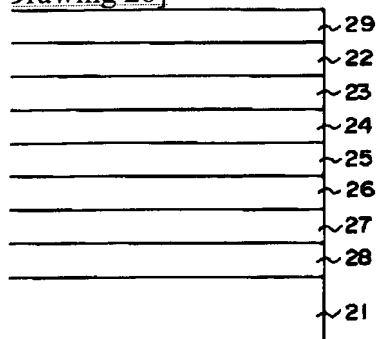
Drawing 19]



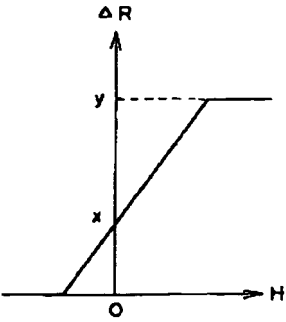
Drawing 27]



Drawing 28]

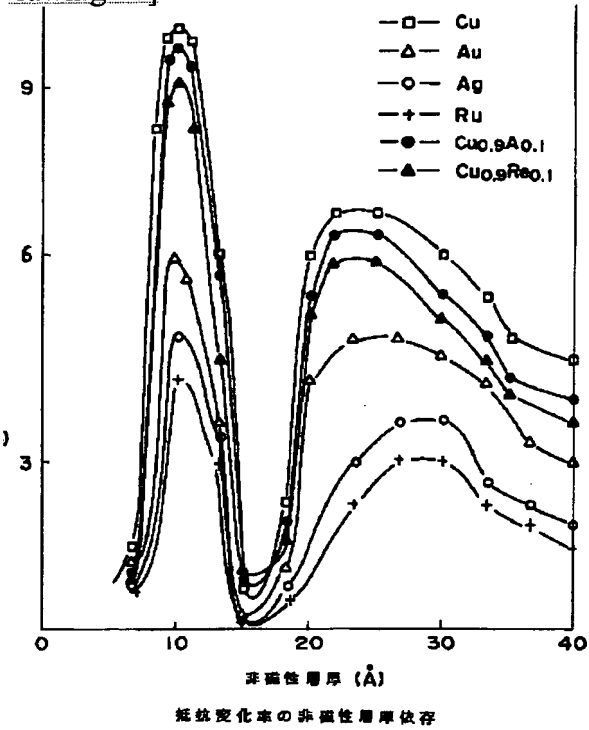


Drawing 37]

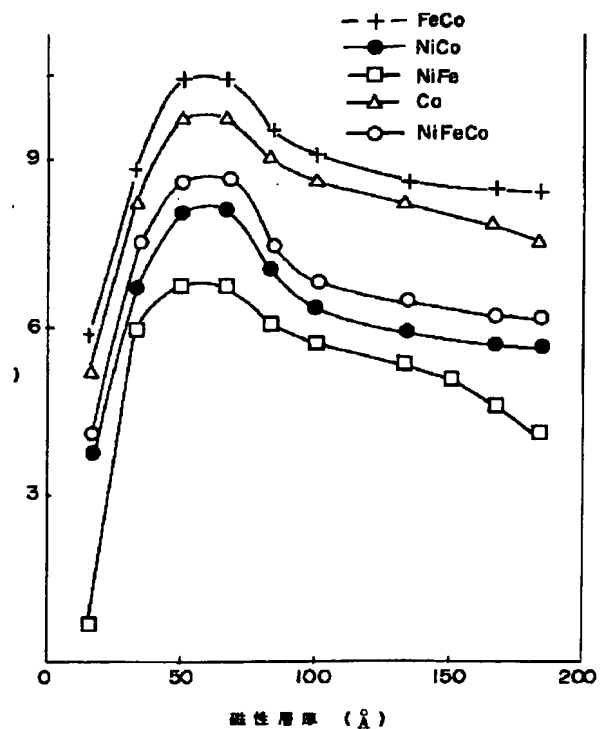


クロスポイント (CP) 位置
 $= 1 - x/y$

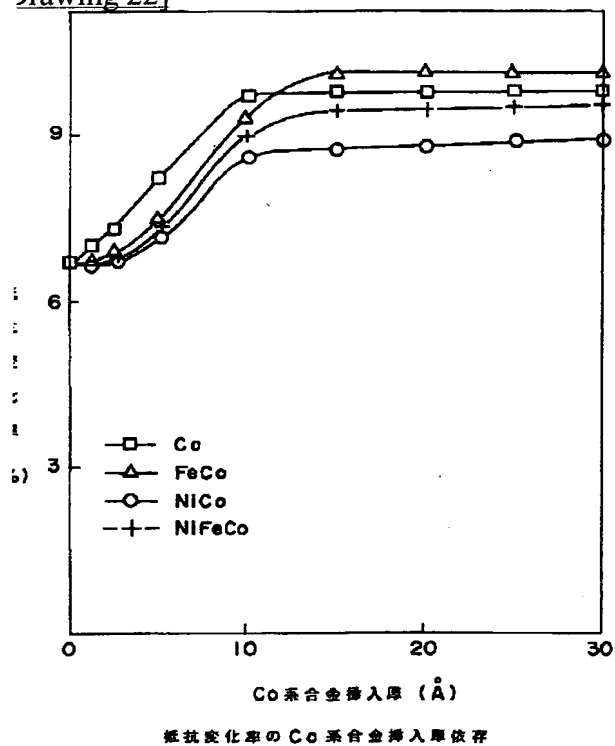
Drawing 20]



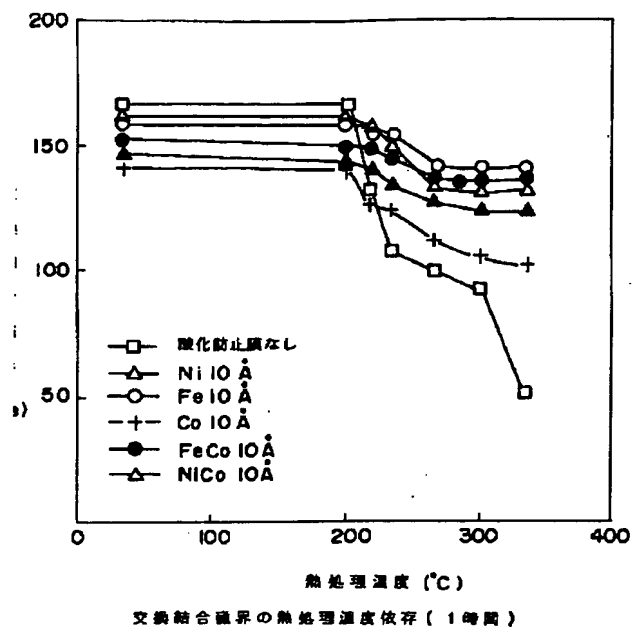
Drawing 21]



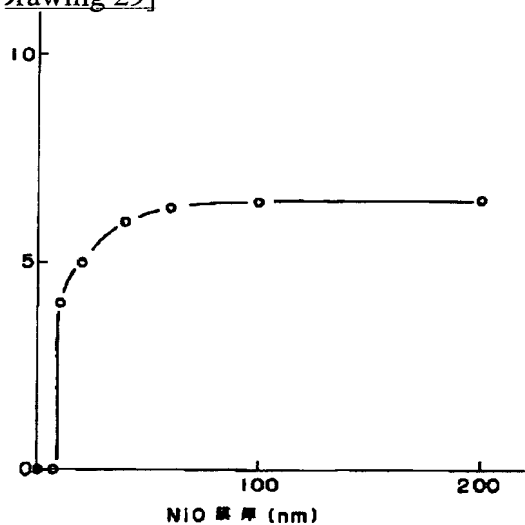
Drawing 22]



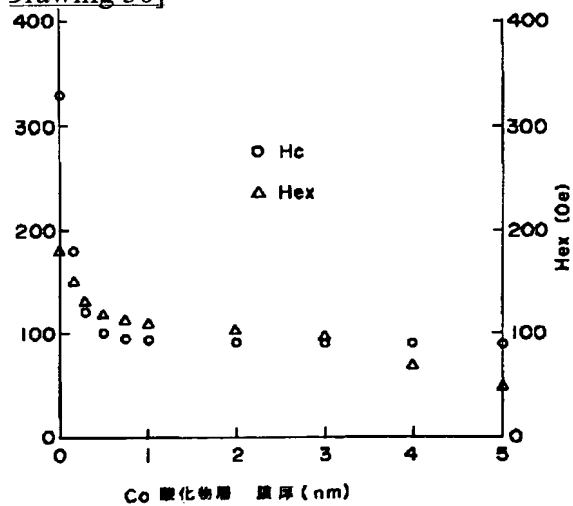
Drawing 23]



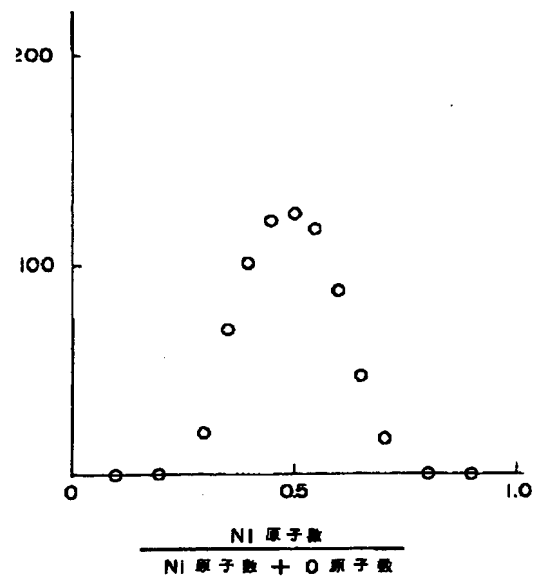
Drawing 29]



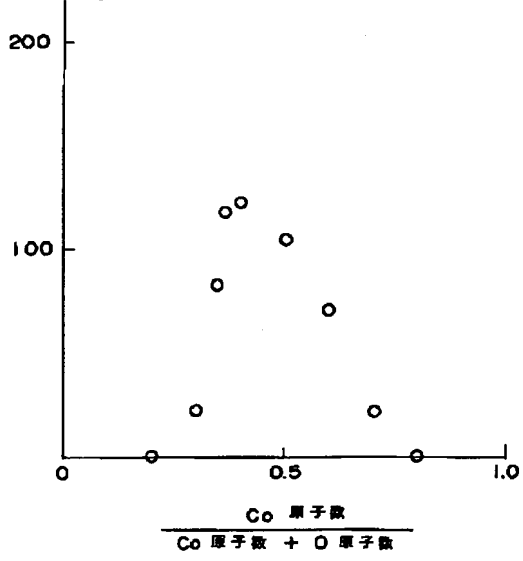
Drawing 30]



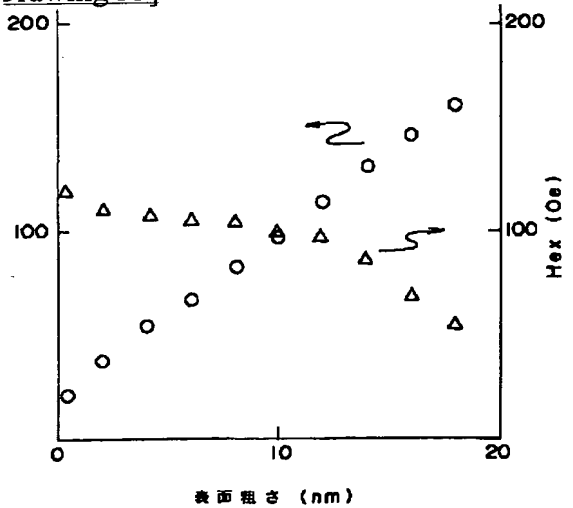
Drawing 31]



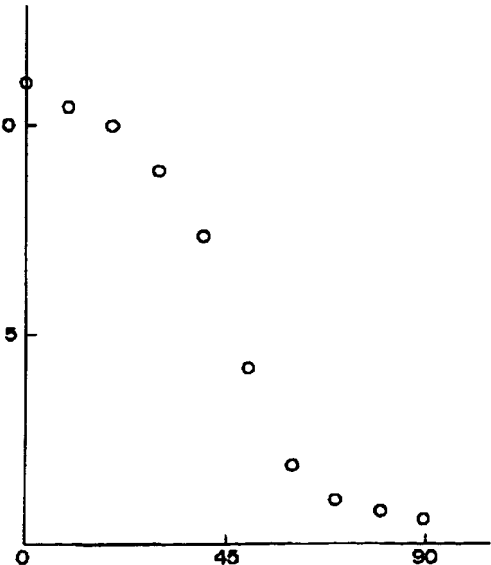
Drawing 32]



Drawing 33]

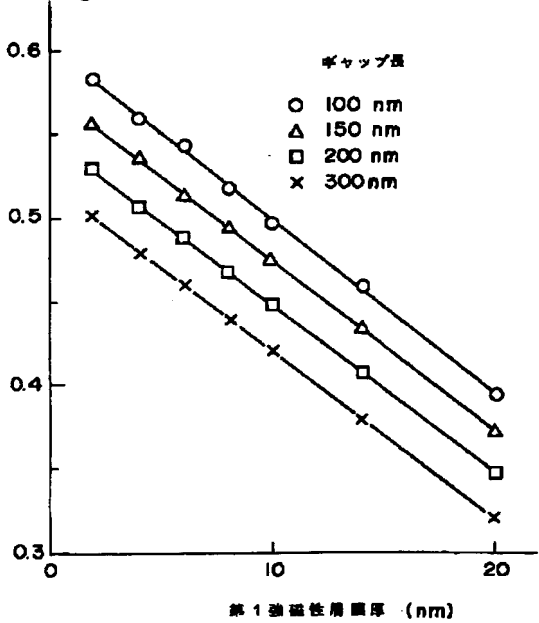


Drawing 34]

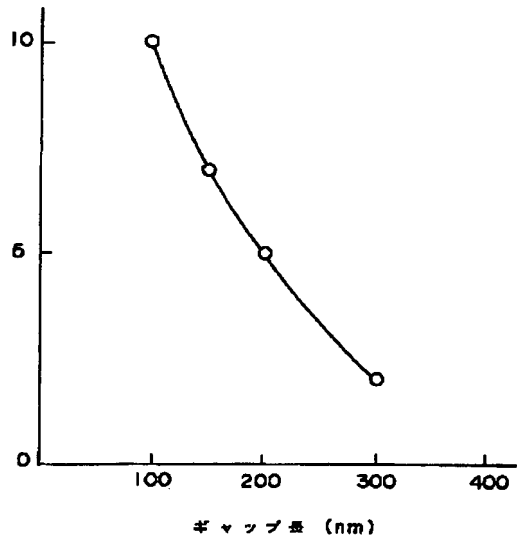


第1の強磁性層と第2の強磁性層の容易軸のなす角度(度)

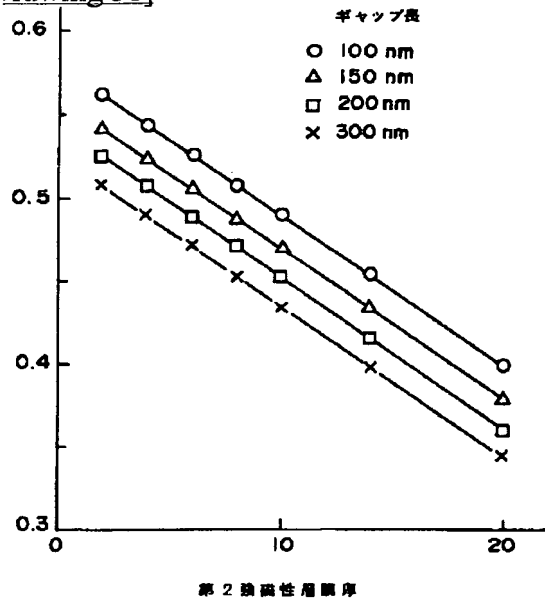
Drawing 35]



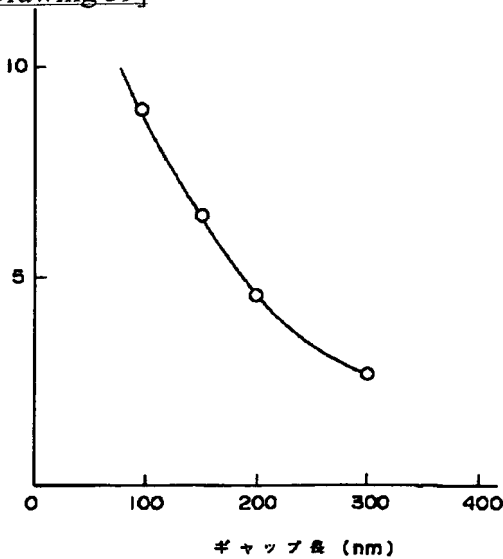
Drawing 36]

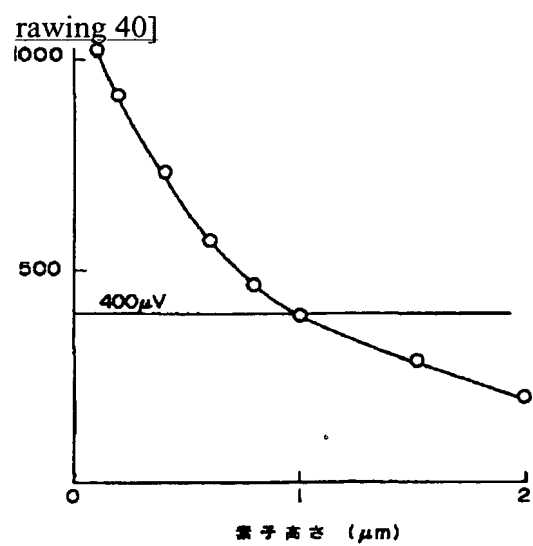


rawing 38]



rawing 39]





ranslation done.]